

Lauri Samuli Lehtola

Kulkuaaltomittaukseen perustuva vikapaikan laskenta 110 kV:n verkossa

Kulkuaaltomittaukseen perustuva vikapaikan laskenta 110 kV:n verkossa

Lauri Lehtola
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka, sähkövoimatekniikka

Tekijä: Lauri Lehtola

Opinnäytetyön nimi: Kulkuaaltomittaukseen perustuva vikapaikan laskenta 110 kV:n verkossa

Työn ohjaajat: Jani Karhu (Fingrid Oyj), Jukka Hinkula (Fingrid Oyj), Antti Vainionpää (Fingrid Oyj) ja Heikki Kurki (Oamk).

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 72 + 5 liitettä

Työn tavoitteena oli tarkastella kulkuaaltomittaukseen perustuvan vikapaikan-
nuksen ominaisuuksia, parannuskeinoja ja käyttöönottoa 110 kV:n verkossa.
Analysointityökalun käyttäminen ja tuloksien käsittely olivat myös tavoitteina.
Toimeksiantajana oli Fingrid Oyj.

Työssä käydään läpi kantaverkossa esiintyvien vikojen vaikutuksia, vikapaikan
laskentamenetelmien käyttöä, kulkuaaltomittauksen teoriaa ja analysointityöka-
lun käyttöönottoa. Työ pohjautuu suurimmaksi osaksi laitevalmistajalta saatuun
tietoon, alan kirjallisuuteen ja tieteellisiin tutkimuksiin. Työssä on käytetty myös
Fingrid Oyj:n sisäisiä materiaaleja ja alan asiantuntijoiden tietämystä.

Vikapaikannuksen tärkeimpiä asioita ovat luotettavuus, tarkkuus ja nopeus.
Kulkuaaltomittaus on tarkin mahdollinen vikapaikannustapa kantaverkossa.
Tämä menetelmä on ainoa luotettava vikapaikannusmenetelmä, jolla voidaan
selvittää vian sijainti kompensoidussa verkossa. Vikapaikannus tapahtuu GPS-
kellojen vastaanotettujen aikaleimojen erotuksen avulla.

Tuloksissa käy ilmi kulkuaaltomittaukseen perustuvan vikapaikanlaskentamene-
telmän toimintavarmuus ja luotettavuus. Toimintavarmuus pystyttiin toteamaan
kulkuaaltomittarin sadoilla havahtumisilla ja luotettavuus perustui kulkuaaltomit-
tarin tuloksiin, jotka vastasivat todellisia vikapaikkoja. Vikapaikan tarkka määri-
tys tuottaa hyötyä sekä kantaverkkoyhtiölle että urakoitsijoille. Tällöin partiointiin
käytetty aika ja siitä aiheutuneet kustannukset vähentyvät. Vikapaikannus ta-
pahtuu iQ+ Master Station ohjelmalla, jolla pystyi analysoimaan ja paikanta-
maan vian. Ohjelman käyttäminen valmistajan käyttöohjeiden avulla oli helppoa
ja vaivatonta.

Asiasanat: Kulkuaaltomittaus, vikapaikan laskenta, transienttivirta

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Electrical engineering programme, Electrical power engineering

Author: Lauri Samuli Lehtola
Title of thesis: The fault location calculation based on the traveling wave fault locators in 110 kV network.
Supervisor: Heikki Kurki (OUAS)
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018
Pages: 72 + 5 appendices

The objective of this thesis is to examine the features of the traveling wave fault locators, the ways of improvement and introduction to 110 kV network. The commissioner of the thesis is Fingrid Oyj.

The thesis reviews the effects of the faults in the grid, the various fault location calculation methods and the usability of the analysis programs of the traveling wave fault locator in 110 kV networks. The thesis is based on the manufacturer's manual, literature, scientific research, internal source materials of Fingrid and the knowledge of its experts.

The most important things of fault location are reliability, accuracy and speed. The use of traveling wave locators gives the most accurate fault locations in the network and it saves hours of search time and reduces costs. The traveling wave generated by the fault goes to the end of line to the traveling wave fault locators and the analysis program calculates the fault location using the differences of the time stamps of both devices. An accurate time reference is provided by GPS time synchronization. The manufacturer has specified that fault accuracy is ± 60 m.

The results of the thesis show how the travelling wave fault locator works and how accurate the device really is. During the work, two faults were located by traveling wave sensors and analyzed with iQ+ Master Station analysis software. An analysis program we used is iQ+ Master Station. The goals set for the thesis were reached and the analysis of fault locations can be seen in the results of the thesis.

Keywords: Traveling wave, transient current, fault location

ALKULAUSE

Työ on tehty pääsääntöisesti Fingrid Oyj:n Oulunsalon yksikössä. Työn ohjaajana on toiminut Jukka Hinkula, Jani Karhu ja Antti Vainionpää. Haluan antaa suuret kiitokset heiltä saamistani alan tuntemuksesta ja neuvoista.

Olen myös hyvin kiitollinen Oulun ammattikorkeakoulun yliopettajalle Heikki Kurjelle hyvästä ohjaamisesta ja tuesta läpi opinnäytetyön.

Erityiset kiitokset kuuluvat lähimmäisilleni kannustuksesta ja tuen antamisesta.

Oulussa 17.05.2018

Lauri Lehtola

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	10
2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	11
3 KANTAVERKOSSA ESIINTYVÄT VIAT JA VIKA-ANALYYSI	13
3.1 Kantaverkon rakenne	13
3.1.1 Sähköasemat	13
3.1.2 Verkkotopologia	14
3.1.3 Maadoitustavat	15
3.2 Edellisten vuosien käyttöhäiriöiden määrä	16
3.3 Vikatyypit	18
3.3.1 Maasulku	18
3.3.2 2-vaiheinen oikosulku	20
3.3.3 3-vaiheinen oikosulku	21
3.4 Vikapaikan laskentamenetelmiä	21
3.4.1 Vikapaikan laskenta releellä	21
3.4.2 Vikapaikan laskenta häiriötallenteilla	24
4 KULKUAALTOMITTAUKSEEN PERUSTUVA VIKAPAIKAN LASKENTA	30
4.1 Vikapaikan määrittäminen	30
4.2 Epäjatkuvuuskohdan vaikutus kulkuaaltoon	33
4.3 Järjestelmän kuvaus	37
4.4 TWS FL-8 -kulkuaaltomittari	40
4.5 Käyttöönotto	43
4.5.1 Hälytykset	44
4.5.2 GPS -yhteys	45
4.5.3 Laukaisut	46
4.5.4 Etäyhteys	46
4.6 Kapasitiivinen jänniteulostulo (luottamuksellinen)	47
4.7 Virtapihtimittaus	49
5 IQ+ VIKAPAIKAN ANALYSOINTITYÖKALU	52
5.1 Konfigurointi	53
5.1.1 Järjestelmä	54
5.1.2 Vikapaikannus	55

5.1.3 Aika-asetukset	57
5.2 Datan analysointi	57
6 KULKUAALTOMITTAUKSEN TULOKSET	62
6.1 Vikapaikan määrittämisen tarkkuus todellisissa vioissa	62
6.2 Häiriöiden lukumäärä ja tyyppi	65
6.3 Laskentatulokset vs. todellinen vikapaikka	66
6.4 IQ+ analysointityökalun käytettävyys	67
7 YHTEENVETO	69
LIITTEET	
Liite 1 Vikapaikan ONT-ST häiriötallenne	
Liite 2 Piirikaavio: Kulkuaaltomittarin apujännitteet, hälytykset ja viestiyhteys	
Liite 3 Jännite- ja virtamittauksen piirikaavio	
Liite 4 Jännitemittauksen piirikaavio (luottamuksellinen)	
Liite 5 Järjestelmän konfiguraationäkymä	

SANASTO

AJK	Aikajälleenkytkentä
CVT	capacitor voltage transformer
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
ETH	Ethernet
FALO	Fault Location laskenta ohjelma
FTP	File Transfer Protocol
f	Taajuus
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Events
GPS	Global Positioning System
I	Virta
IQ+ Master station	Vianpaikannuksen analysointi -ohjelmisto
kV	kilovoltti
m	metri
mA	milliampeeri
MAXIMO	IBM:n kunnossapito-/omaisuustietojärjestelmä.
MPLS	Multiprotocol Label Switching
PJK	Pikajälleenkytkentä
PSSE	Power System Simulator for Engineering
STINA	Häiriötallenteiden keruuohjelma
TWS	Traveling wave fault locators

U	Jännite
X	Reaktanssi
Z	Impedanssi

1 JOHDANTO

Työn tavoitteina oli käyttöönottaa 18 kpl:ta Qualitrolin TWS-FL 8-kulkuaaltomittaria 220 kV:n ja 110 kV:n verkkoon Pohjois-Suomeen ja todentaa kulkuaaltomittarin toimivuus 220 kV:n ja 110 kV:n verkossa. Työvaiheiden osalta tuli myös miettiä parannuskeinoja, jotka olisi tärkeä huomioida tulevissa asennusprojekteissa. Myös kulkuaaltomittarin IQ+ Master Station -analysointisovelluksen käyttöönotto ja käytettävyyden parantaminen olivat tärkeässä osassa työtä.

Luonnonilmiöt ovat suurimpia häiriöiden aiheuttajia. Vikoja on 2016 tilastoitu 110 kV:n verkosta yli 300 ja suurin osa näistä vioista on luonnonilmiöiden aiheuttamia ja noin 20 % ukkosen aiheuttamia. Haarajohdolle kohdistuvat vikapaikat ovat hyvin haastavia paikantaa, sillä niiden antamien vikavirtojen avulla, koska distanssireleelle ei syötetä haarajohtoja. Tällaiset epäjatkuvuuskohdat voidaan paikantaa kulkuaaltomittaukseen perustuvalla laskennalla haarankohdalle, mikä helpottaa vikapaikan etsimistä.

Verkon vanhetessa alkavat eristeet huonontua, liitokset hapettua ja likaantua. Sen seurauksena eristin voi menettää kokonaan eristyskykynsä ja päästää virran kulkemaan eristimen läpi pylväsrunkoon. Nämä viat ovat hitaasti kehittyviä vikoja, jotka voidaan paikantaa vain kulkuaaltomittaukseen perustuvalla vikapaikanlaskennalla. Kulkuaaltomittaukseen perustuva vikapaikanlaskenta on ainoa laskentamenetelmä, jolla voidaan vika paikantaa kompensoidussa verkossa.

Kulkuaaltomittaukseen on käytetty 400 kV:n verkossa jo 20 vuotta ja siellä se on havaittu hyväksi ja luotettavaksi. Luotettavuuden ja laskentatuloksien tarkkuuden vuoksi kulkuaaltomittareita haluttiin asentaa myös 110 kV:n verkkoon. Tässä työssä saadaan hyvä kuvaus kulkuaaltomittaustekniikasta ja vikapaikan laskentaohjelman käytettävyydestä.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

Sähkömarkkinalaki tuli voimaan 1995 ja se edellytti, että sähkön myynnin ja siirron liiketoimet tuli erottaa toisistaan. Täten perustettiin Suomen kantaverkko Oy nykyinen Fingrid Oyj. Yhtiön perustivat vuonna 1996 Imatran Voima Oy, Pohjo-
lan Voima Oy ja Suomen valtio. Fingrid Oyj:n operatiivinen toiminta alkoi 1997.(1.)

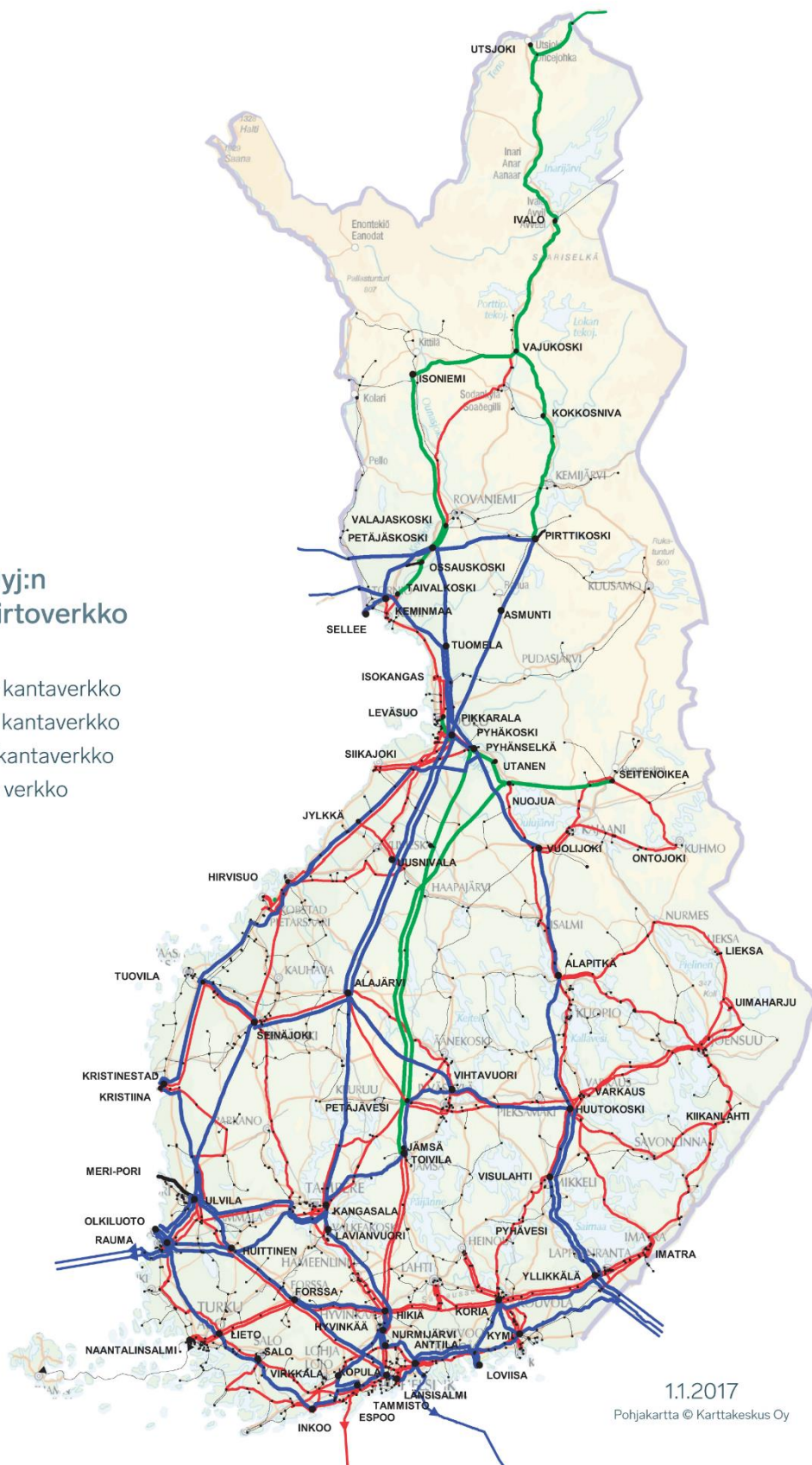
Fingrid Oyj on Suomen kantasähköverkkoyhtiö, joka vastaa sähkönsiirrosta kantaverkossa. Fingrid Oyj siirtää sähköä jatkuvasti tuottajilta jakeluverkko- ja teollisuusyrityksille. Fingridin maanlaajuisen kantaverkon kautta kulkee suurin osa Suomessa käytetystä sähköstä. Tärkeimpiä tehtäviä on siirtokapasiteetin varmistaminen, käyttövarmuuden hallinta ja sähkömarkkinoiden edistäminen. (2.)

Fingrid omistaa yli 100 sähköasemaa, 14 600 km voimajohtoa, 300 km meri-
kaapeleita, 49 000 pylvästä ja 10 varavoimalaitosta. Suomen kantaverkko koos-
tuu 400 kV:n, 220 kV:n ja tärkeimmistä 110 kV:n sähkönsiirtoverkoista. Verk-
koa rakennetaan, kehitetään ja kunnostetaan jatkuvasti. Fingrid vastaa myös
rajasiirtoyhteyksien käytöstä Norjaan, Ruotsiin, Viroon ja Venäjälle. Kuva 1 esi-
tää kaikkien jännitetasojen kantaverkkoa.

Yhtiön visiona on toimia kantaverkkotoiminnan esikuvana kansainvälistyvillä
sähkömarkkinoilla. Missiona on toimia asiakkaiden ja yhteiskunnan hyväksi,
siirtää luotettavasti sähköä, kehittää jatkuvasti kantaverkkoa ja edistää aktiivi-
sesti sähkömarkkinoita. Fingrid on avoin, tasapuolinen, tehokas ja vastuullinen
yritys. Fingridin liikevaihto oli vuonna 2016 lähes 600 miljoonaa euroa. Fingridil-
lä työskentelee yli 300 henkilöä. (2.)

**Fingrid Oyj:n
voimansiirtoverkko
1.1.2017**

- 400 kV kantaverkko
- 220 kV kantaverkko
- 110 kV kantaverkko
- muiden verkko



11.2017

Pohjakartta © Karttokeskus Oy

KUVA 1. Suomen kantaverkko (2).

3 KANTAVERKOSSA ESIINTYVÄT VIAT JA VIKA-ANALYYSI

Kantaverkkoyhtiön tarkoitus on siirtää sähköä turvallisesti, kehittää kantaverkkoa, ylläpitää kulutuksen ja tuotannon tasapainoa ja edistää sähkömarkkinoiden toimivuutta. Nämä perustuvat sähkömarkkinalakiin 386/1995. Kantaverkon on oltava teknisesti käyttövarma, toiminnallisesti tehokas ja tasapuolinen. (3.)

Vikoja syntyy kantaverkkoon tuhansia, mutta suurin osa vioista on ohimeneviä eikä aiheuta ongelmia sähköverkon käyttäjille. Oiko- ja maasulkujen aiheuttamat jännitekuopat ovat haitallisia teollisuudelle, sillä monet tehdasprosessit eivät kestä pitkää jännitehäviötä vaan irtoavat verkosta ja siitä aiheutuu teollisuusprosessien keskeytymisiä ja tietojärjestelmien kaatumisia. Käyttöhäiriöllä tarkoitetaan katkaisijan laukeamista suojauksen toimesta tai katkaisija avataan verkon ollessa kriittisessä tilassa. Käyttöhäiriöitä aiheuttaneet viat voidaan luokitella kolmeen eri luokkaan: ohimeneviin, toistuviin ja pysyviin vikoihin. Vika on ohimenevä, jos vika korjautuu pikajälleenkytkennällä, aikajälleenkytkennällä tai käsin tehtävän palautuksen jälkeen. Mikäli mikään edellisistä jälleenkytkennöistä tai käsin tehtävä palautus ei poista vikaa, kyseessä on pysyvä vika. (4, s. 33-36.)

3.1 Kantaverkon rakenne

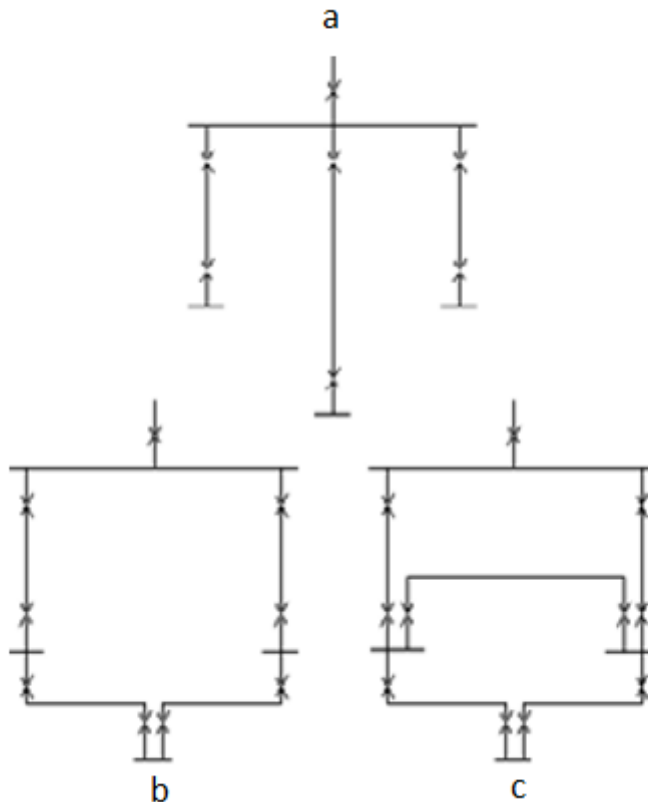
3.1.1 Sähköasemat

Sähköasemat voidaan luokitella kahteen luokkaan: kytkinlaitoksiin ja muuntoasemiin. Kytkinlaitoksissa voidaan siirtää sähköä samasta jännitetasosta moneen eri johtolähtöön eikä kyseisellä asemalla ole muuntajaa. Muuntoasemissa on yksi tai useampi muuntaja ja siellä on eri jännitetasoista lähteviä voimajohtoja. Kantaverkko käyttää 400 kV:n, 220 kV:n ja 110 kV:n jännitetasoja. Tehomuuntajalla muunnetaan jännitetaso esimerkiksi 400 kV:sta 220 kV:iin eli 400/220 kV:n tehomuuntaja. Vaihtosähkö 230 V saadaan kytkinlaitoksissa paikallisesta jakeluverkosta 20/0,4 kV:n muuntajalta. Muuntoasemalla saadaan käytösähkö 400/110 kV:n tehomuuntajan omakäyttömuuntajalta, joka on suuruudeltaan 20/0,4 kV. (3.)

Sähköasemien laitteistot voidaan myös jakaa kahteen eri ryhmään: ensiö- ja toisiolaitteisiin. Ensiölaitteet ovat laitteita, jotka on suoraan kytketty suurjännitteeseen. Niihin kuuluu muun muassa: kiskostot, kytkinlaitteet, muuntajat ja kompensointilaitteet. Toisiolaitteisiin kuuluu muun muassa verkkoa suojaavat releet, verkonvalvontalaitteet ja verkonohjaamiseen käytettävät järjestelmät. Toisiolaitteet sijaitsevat asemarakennuksen sisällä. (3.)

3.1.2 Verkkotopologia

Pohjois-Suomen 110 kV:n verkko on pääsääntöisesti asennettu rengasverkoksi muualla, paitsi Lapissa on käytössä säteittäinen sammutettu verkko. Rengasverkossa syötöt ovat varmennettuja ja niissä on pienemmät tehohäviöt kuin säteittäisessä verkossa. Hankintakustannukset ovat hieman suuremmat ja relesuojaus haastavampi toteuttaa kuin säteittäisessä verkossa. Säteittäinen verkko taas on yksinkertaisempi ja siten helpompi käyttää ja suojata. Haittoina on sen käyttövarmuus, koska sen varasyöttö on kytkettävä erikseen ja huoltojen ajaksi on tehtävä käyttökeskeytys. Kuva 2a esittää säteittäistä verkkoa ja 2b ja 2c esittävät rengasverkkoja. (5.)



KUVA 2. Rengasverkko ja säteittäinen verkko (5).

3.1.3 Maadoitustavat

Osittain maadoitetussa verkossa kaikkien muuntajien tähtipisteitä ei maadoiteta. 400/110kV:n verkkomuuntajien 110 kV:n tähtipiste maadoitetaan aina kuristimen kautta. Pienillä alle 25 MVA:n muuntajilla tähtipiste voidaan maadoittaa myös suoraan. 110 kV:n verkon maadoitustavan valinta perustuu siihen, että maasulkuvirta on riittävän suuri, jotta distanssirele pystyisi toimimaan selektiivisesti maasuluissa. (6, s. 207.)

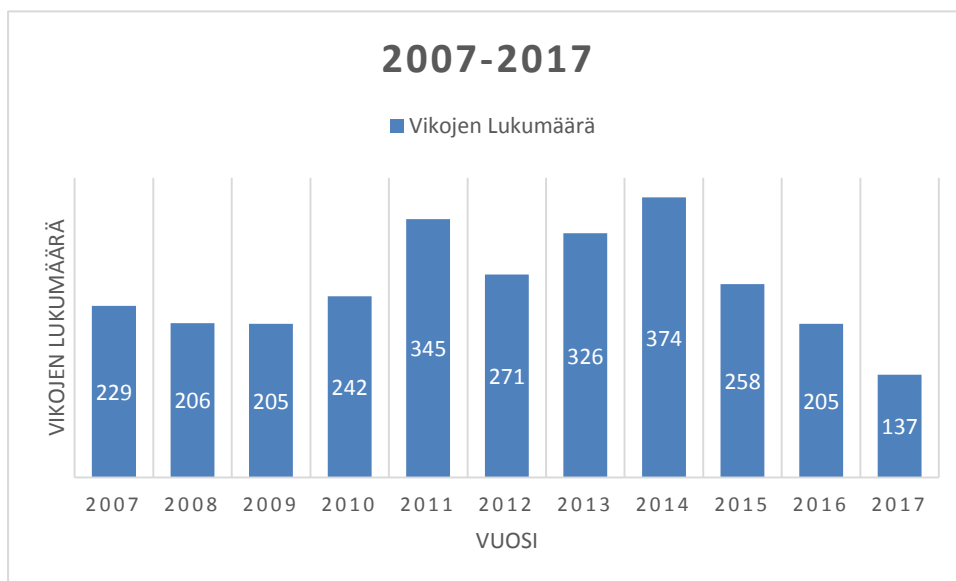
220 kV:n siirtoverkko on tehollisesti maadoitettu. Tällaisella maadoitustavan valinnalla halutaan pienentää maasulun aikaista terveiden vaiheiden jännitteenousua ja samalla saada aikaan mahdollisimman nopeat suojaustoiminnot (suuret maasulkuvirrat). Jokaisella asemalla muuntajan tähtipiste on maadoitettu joko suoraan tai kuristimen kautta. (6, s. 207.)

Sammutetussa järjestelmässä maasulkuvirtaa pienennetään tähtipisteeseen asennetulla sammutuskuristimella, joka kumoaa maakapasitanssien kautta kul-

kevan kapasitiivisen maasulkuvirran lähes kokonaan. Näin valokaarimaasulku saadaan usein sammumaan itsestään. (6, s. 207.)

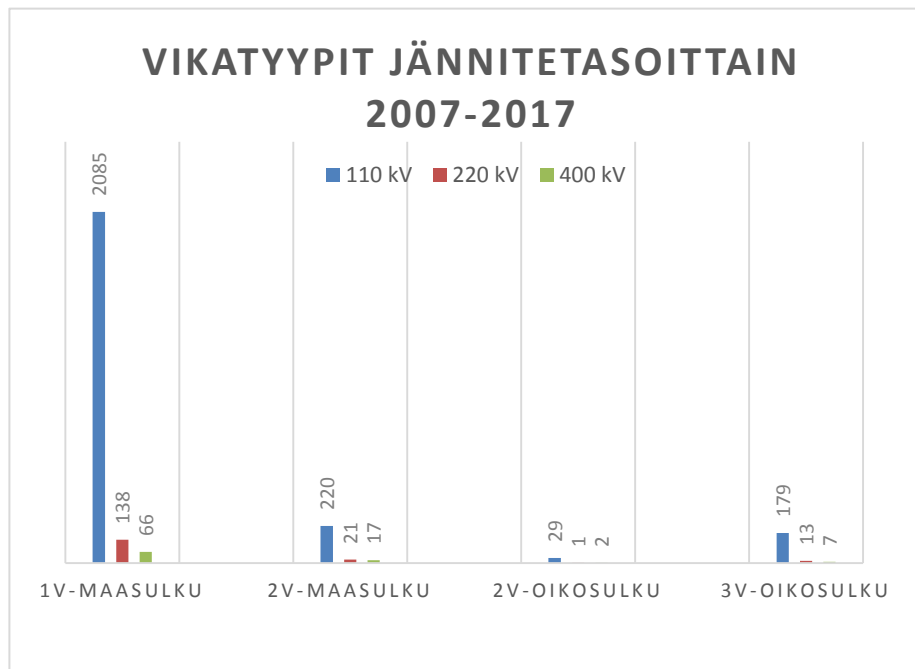
3.2 Edellisten vuosien käyttöhäiriöiden määrä

Valtaosa käyttöhäiriöistä johtuu ilmastollisista syistä, niistä suurin aiheuttaja on ukkonen. Pääsääntöisesti kaikki siirtojohdot on suojattu ukkosjohtimilla, jotka sijaitsevat vaihejohtimien yläpuolella suojatakseen vaihejohtimia suorilta salaman iskulta. Kaikkia iskuja ei voi estää, sillä salaman iskiessä ukkosjohtoon pylvään potentiaali nousee ympäristöön ja siten myös vaihejohtimiin nähden. Tällöin voi tapahtua takaisku, joka menee orresta vaihejohtimeen ja täten salama voi kulkeutua vaihejohdinta pitkin sähköasemalle ja voi jopa aiheuttaa kytkinlaitteiden hajoamisia. (7, s. 205.) Kuva 3 esittää vuosien 2007–2017 käyttöhäiriöitä aiheuttaneiden johtovikojen lukumääriä.



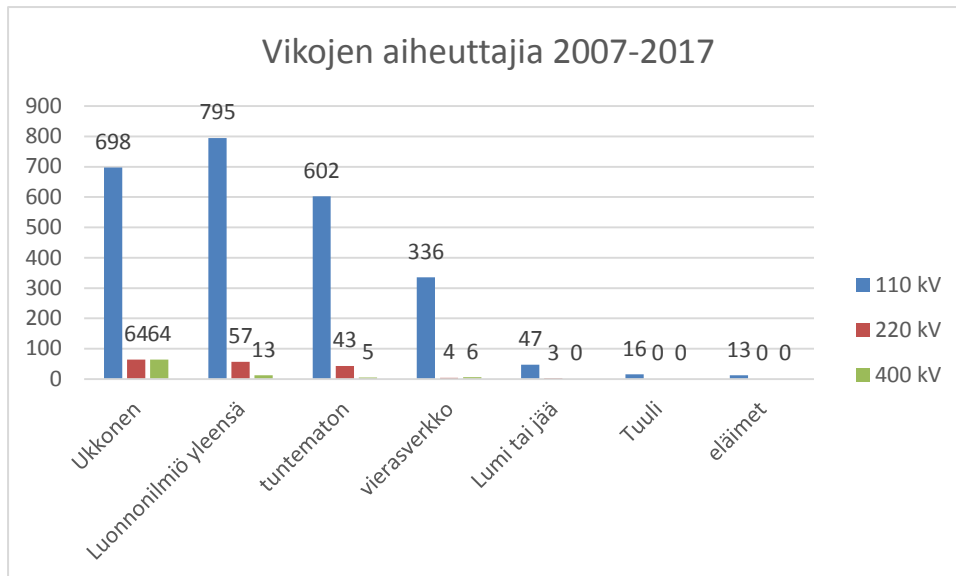
KUVA 3. Vikojen lukumäärät vuosilta 2007–2017

110 kV:n verkko on suojauksen kannalta tärkeä, koska siellä tapahtuu suurin osa vioista. Käyttö- ja siirtovarmuusmielessä 400 kV:n verkko on tärkeä, sillä sen vikaantuminen aiheuttaa laajoja sähkökatkoksia. Yksivaiheisista maasuluisista jopa n.75 % esiintyy 110 kV:n verkossa ja vain pieni osa suuremmissa jännitetasoissa. Muiden vikatyypin osuus on huomattavasti pienempi. Kuvassa 4 on vuosien 2007–2017 käyttöhäiriöiden vikatyypit jännitetasoittain.



KUVA 4. Vikatyypit jännitetasoittain 2007–2017

Kuvassa 5 on esitetty muutamia vikojen aiheuttajia 2007–2017 jännitetasoittain syyn sekä johtovikojen lukumäärän mukaan. Ukkosen aiheuttamia vikoja on suurin osa, kun huomioidaan kaikki jännitetasot. Tuntemattomia vikoja voi olla muun muassa eristimen mekaaninen vika. Siitä voi syntyä maasulku, mikäli jännite siirtyy pylväsrunkoon ja purkautuu sitä kautta maahan. ”Luonnonilmiöt yleensä” ja ”tuntemattomat” vikojen syyt ovat merkitty tuntemattomiksi. Vierasperkoissa tapahtuvat viat heijastuvat hyvin herkästi 110 kV:n siirtävään verkkoon ja nostavat 110 kV:n verkon riskialttiutta huomattavasti. Vierasperkot ovat muun muassa jakeluverkkoyhtiöiden omistamia 110 kV:n johtoja. Muut syyt eivät synnytä niin paljon vikoja kuin nämä neljä edellä mainittua aiheuttajaa.



KUVA 5. Vikojen aiheuttajia

3.3 Vikatyypit

Koko siirtoverkko on avojohtoverkkoa, joten se on jatkuvasti ulkoisten tekijöiden aiheuttamille vioille alttiina. Vikatilanteita on erityyppisiä kuten yksi- ja kaksivaiheinen maasulku ja kaksi- ja kolmivaiheinen oikosulku. (7, s. 205.)

Kaikkia ohimeneviä vikoja on hankala todentaa, mutta yleisin vikojen aiheuttaja on luonnonilmiöt. Alla on listattu erilaisia syitä, jotka aiheuttavat vikatilanteita:

- ylijännitteet (esim. ukkonen) aiheuttamat valokaaret eristysvälin yli
 - eristyksen vioittuminen (eristimen vanheneminen, mekaaninen haurastuminen, ilkivalta, kaivuukone vioittaa kaapelin)
 - unohtuneet työmaadoitusvälineet
 - virheelliset toimenpiteet (esim. erottimen avaus kuormitusvirrallisena, virheellinen tahdistus)
 - ympäristölliset syyt (esim. oksa lentänyt vaiheiden väliin, linnut)
- (7, s. 2015.)

3.3.1 Maasulku

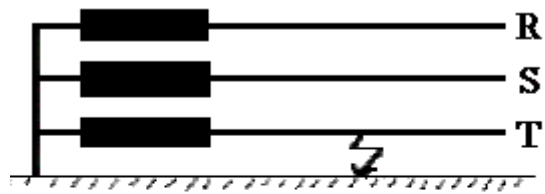
Maasulku voi olla yksivaiheinen, kaksivaiheinen tai kaksoismaasulku. Virtapiiriin syntyy maasulku, kun vaihejohdin joutuu kosketuksiin maan potentiaalin kanssa. Talvella ukkosjohdin saattaa lumen painosta koskettaa vaihejohtimeen, jolloin virta kulkee ukkosjohtimesta pylväsrakenteeseen synnyttäen maasulun.

Maasulku poistuu yleensä käyttämällä vikaantunutta johtoa jännitteettömänä. PJK ja AJK ovat jälleenkytkentöjä, jotka sammuttavat vikojen aiheuttamat valokaaret, mikäli viat ovat ohimeneviä. (8.)

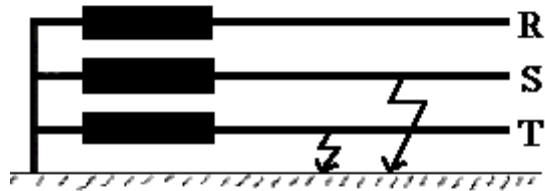
Salamaniskut ja muutkin ulkoiset tekijät aiheuttavat myös maasulkuja. Maasulusta aiheutuu maahan ja sen ympärille hengenvaarallinen askeljännite. Mitä johtavampi maaperä, sitä kauemmaksi askeljännite yltää johtamaan eli lähellä maasulkua on suuri jännite ja kauemmaksi mentäessä jännite laskee tasaisesti. Huonosti johtava maaperä taas ei johda kauas, mutta pienellä alueella on todella suuri askeljännite. Huonosti johtava maaperä on vaarallinen ihmiselle. Mikäli ihminen johtaa paremmin kuin maaperä, kulkee virta läpi ihmisen ja seuraukset voivat olla vaaralliset. Maan kautta kulkeva virta indusoi myös voimajohdon lähellä oleviin johtoihin ja putkistoihin induktiojännitteitä. Maasulkuvirran suuruuteen vaikuttaa verkon maadoitustapa. Esimerkiksi maadoituskuristimella varustettu muuntaja kumoaa nollavirran vian syntyessä.

Maasulun aiheuttama nollavirta ja viallisen vaiheen vaihevirta kasvavat huomattavasti ja niiden vaihe-ero on 180 astetta. Viallisen vaiheen jännite laskee, mutta vika aiheuttaa hieman jännitteen nousua ”terveille” vaiheille. Terveessä verkossa, jonka tähtipiste on maadoitettu, nollajännite U_0 on 0 V, mutta viallisessa vaiheessa nollajännite on vaihejännitteen suuruinen. (8.)

Kaksivaiheisessa maasulussa viallisten vaiheiden vikavirrat kasvavat, kun taas vikaantuneiden vaiheiden jännitteet laskevat. Terveen vaiheen vaihejännite nousee suhteessa vähän verrattuna normaaliin vaihejännitteen suuruuteen ja vikaantuneiden vaiheiden nollavirrat kasvavat. (8.)



Yksivaiheinen maasulku
eli yksivaiheinen oikosulku



Kaksoismaasulku

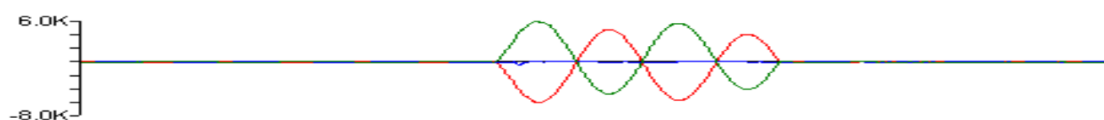


Kaksivaiheinen maa-oikosulku

KUVA 6. Maasulku (9).

3.3.2 2-vaiheinen oikosulku

Kaksivaiheinen oikosulku tarkoittaa vikaa, jossa kaksi eri vaihejohtinta ovat kosketuksissa toisiinsa ilman maakosketusta. Kova myrsky voi aiheuttaa niin kovan tuulen, että vaihejohtimet pääsevät heilumaan siinä määrin, että ne koskettavat toisiaan. Kaksivaiheisessa oikosulussa vikaantuneiden vaiheiden vaihevirrät kasvavat todella suuriksi ja terveen vaiheen vaihevirta pysyy normaali-
na. Kaksivaiheisessa oikosulussa vikaantuneiden vaiheiden vikavirrät ovat 180° vaihe-erossa. Mikäli R- ja S-vaiheet ovat vioittuneet, R-vaiheen virta on 180° S-vaiheen virtaa edellä (kuva 7). (10, s. 12-13; 11, s. 10-15.)



KUVA 7. R ja S vaiheiden vikavirrät (10, s. 12-13).

3.3.3 3-vaiheinen oikosulku

Kolmivaiheisessa oikosulussa kaikki vaiheet eli R-, S- ja T- vaihe ovat kosketuksissa toisiinsa. Viallisten vaiheiden vikavirrat kasvavat huomattavasti ja taas vaihejännitteet laskevat lähes kymmenesosaan normaalista jännitetasosta. Vikapaikan etäisyys syöttöpisteestä ja vikaresistanssi vaikuttavat jännitteiden suuruuteen. Vikavirrat ovat 120° vaihe-erossa, mikäli tasavirtakomponenttia ei esiinny. Myös vaihejännitteet ovat symmetriset. Nollavirtaa ei synny, mikäli ei ole maakosketusta. Nollavirtaa voi ilmetä, jos vaiheet eivät vikaannu täysin samaan aikaan. (10, s. 12-13; 11, s. 10-15.)

3.4 Vikapaikan laskentamenetelmiä

Vikapaikka voidaan määrittää useiden eri laskentamenetelmien avulla. Kullakin menetelmällä on etunsa ja puutteensa. Tässä luvussa perehdytään erilaisiin laskentamenetelmiin, joissa käytetään hyväksi häiriötallenteita. Käydään läpi myös distanssireleen vikapaikan laskentaa reaktanssien avulla.

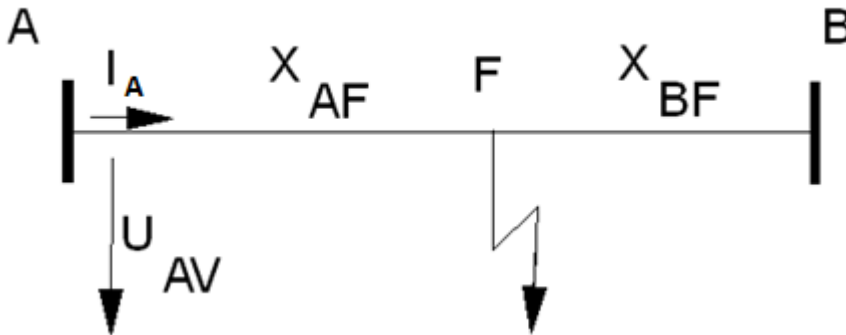
Tärkeintä vian syntymisen jälkeen on vikapaikan löytämisen nopeus. Mitä tarkempi on vikapaikan laskennan tulos, sitä enemmän voidaan säästää vikapaikan partioimiseen käytettyä aikaa, sekä vian kestoa. Ennen vikapaikalle saapumista olisi hyvä tietää, minkä tyyppinen vika on kyseessä. Sillä kun tiedetään vikatyyppi, osataan jo heti varautua vikakorjaukseen oikein varustein. Kaikkia vikoja ei tarvitse käydä partioimassa, sillä suurin osa vioista on ohimeneviä ja vain pieni määrä vioista on pysyviä.

3.4.1 Vikapaikan laskenta releellä

Distanssirelettä voidaan käyttää verkon oikosulku- ja maasulkusuojana. Distanssirelettä käytetään yleensä renkaaseen asennetussa verkossa. Distanssirele mittaa johdon virran ja alkupään jännitteen ja laskee niiden avulla impedanssin Z . Distanssirele kykenee erottamaan, onko vika mitattavalla johto-osuudella vaiko johtolähdön takana. Rele päättelee suunnan vaihesiirtokulman avulla eli nollavirran ja viallisen vaiheen jännitteen aiheuttaman vaihe-eron avulla. Mikäli vikapaikka on takana, virta on 90° jännitettä edellä ja taas, jos vika on edessä, virta on jännitettä 90° jäljessä. Tämä johtuu siitä, että vikavirta on induktiivista

loisvirtaa. Maasulkusuojana käytettäessä se havaitsee viat $20\ \Omega$ vikaresistanssiin saakka. Virtaherkkyys eli releen reagoinnin minimiarvo on uusilla releillä 10 % releen nimellisvirrasta. Se ei havaitse vikaa, jos se on tätä pienempi. Eikä rele kykene erottamaan vikaa, jos vikaresistanssi on todella suuri, jolloin vikavirta ei erotu normaalista kuormitusvirrasta. Esimerkiksi ukkosjohtimettoman johdon maasulussa on niin suuri vikaresistanssi, että distanssirele ei anna laukaisukäskyä. (12, s. 210-213.)

Rele käyttää virtaa ja jännitettä vikapaikan laskentaan. Kuva 8 esittää johtovika-tilannetta, josta saatujen mittaustietojen perusteella vikapaikka voidaan selvittää.



KUVA 8. Vika ,asemien A-B välisellä johto-osuudella (12, s. 210-213).

Tässä tapauksessa asemien A ja B välissä on vika paikassa F. Koko johdon reaktanssi on X_j ja pituus l_j . Reaktanssit asemilta vikapaikkaan ovat X_{AF} ja X_{BF} . Johdon reaktanssi lasketaan yhteen laskemalla vikapaikan reaktanssit $X_j = X_{AF} + X_{BF}$. Mikäli vika on 3-vaiheinen, sen vikaresistanssi on $0\ \Omega$ ja vikapaikan ja maan välinen jännite on 0 V, mikäli virta ei pääse kulkeutumaan maahan. Rele mittaa asemalla A virran I_A ja vaihejännitteen U_{AV} . Koska maan ja vaiheen välinen jännite on 0 V on U_{AV} yhtä suuri kuin reaktanssista aiheutunut jännitehäviö eli $X_{AF} \cdot I_A$. Releen vikareaktanssi X_m saadaan jakamalla vaihejännite U_{AV} aseman A virralla I_A . (12, s. 210-213.)

$$X_m = \frac{U_{AV}}{I_A}$$

KAAVA 1

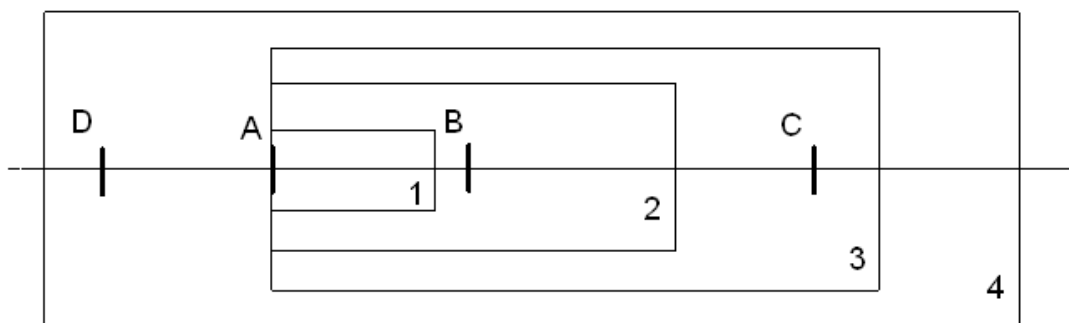
Johto-osuuden reaktanssi X_{AF} on sama kuin vikareaktanssi X_m . Reaktanssi on yleensä pituusyksikköä kohden vakio, joten A asema ja vikapaikan välinen etäisyys d_{AF} saadaan laskettua kaavan 2 avulla. (11, s. 210-213.)

$$d_{AF} = \frac{X_{AF}}{X_j} I_{AB} = \frac{X_m}{X_j} I_{AB}$$

KAAVA 2

Kaavassa I_{AB} on johdon kokonaispituus.

Distanssirele havaitsee vikapaikan suunnan ja etäisyyden vikavirtojen avulla lasketun impedanssin perusteella. Distanssirele toimii aikaselektiivisesti vyöhykkeiden avulla. Vyöhykkeitä asetellaan yleensä 3–5 kappaletta. Niille asetellaan laukaisuajat aikaselektiivisesti. Ne asetellaan impedanssin perusteella määriteltyihin alueisiin. 1-vyöhyke on 80-85 % suojattavan johdon pituudesta, 2-vyöhyke n.120 % suojattavan johdon pituudesta ja 3-vyöhyke suojaa kokonaan seuraavan johdon ja sitä seuraavasta 10%. 4-vyöhyke on niin sanottu havahtumisvyöhyke ja ulottuu myös suojattavan kohteen taakse. Kuva 7 esittää asemalla A suuntaan B mitattavan distanssireleen vyöhykkeitä.



KUVA 9. Vyöhykkeiden jakautuminen mitattavalla johdolla A-B (12, s. 210-213).

Mikäli vika osuu 1-vyöhykkeeseen, antaa se katkaisijalle laukaisukäskyn välittömästi. Vian osuessa 2- vyöhykkeeseen on laukaisuaika 0,4 s ja 3- vyöhykkeeseen 0,8 s. 2- ja 3-vyöhykkeet ovat yliulottuvaisia ja toimivat täten varasuojina seuraaville johdoille. (13, s. 30.) Hyvää on myös se, että distanssirele pystyy toimimaan ilman viestiyhteyksiä selektiivisesti eli lähimpänä vikakohtaa oleva rele toimisi ensin.

Puutteita vikapaikkaa määrittäessä on vikapaikan epätarkkuus, koska vikaa etsittäessä tarvitaan tarkka tieto siitä, missä vikapaikka sijaitsee. Distanssireleellä laskettu arvo voi poiketa jopa 10 % johdon pituudesta eli jos johto on 100 km pitkä, on vikapaikan tarkkuus ± 10 km. Tällä menetelmällä ei voida myöskään paikantaa vikapaikkaa sammutetussa verkossa, koska siellä maasulkuvirta kumoutuu tähtipisteeseen asennetulla sammutuskuristimella. Haarajohdot aiheuttavat suuria virheitä vikapaikannuksen tarkkuudelle. Distanssirele laskee haaralla olevasta viasta vikavirran, mutta ei tunnista sitä haaralle vaan antaa tuloksen mitattavalle johdolle.

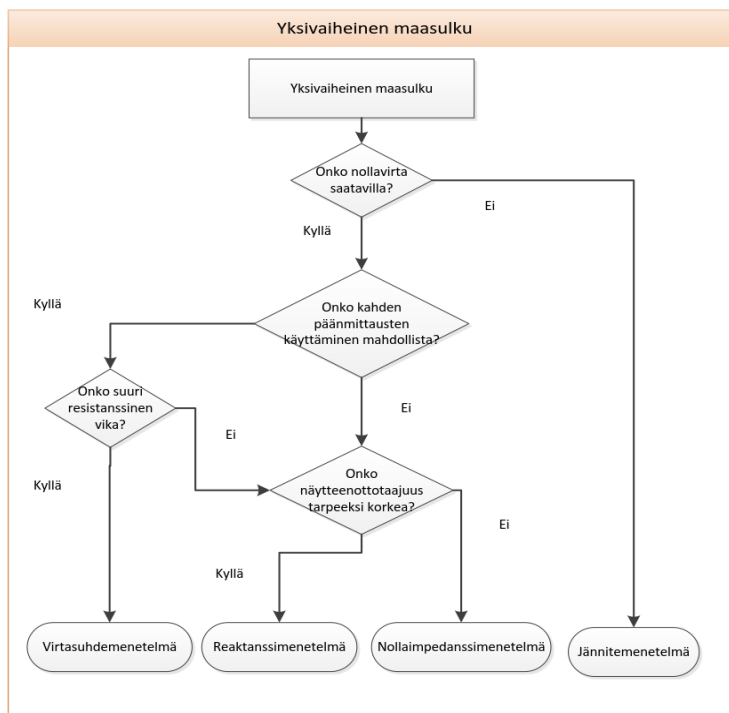
3.4.2 Vikapaikan laskenta häiriötallenteilla

Häiriötilanteiden tallentaminen on tärkeää, sillä tallenteista nähdään muun muassa suojauksen toimintatapahtumat. Tallennettuja vikavirta- ja jännitearvoja käytetään hyväksi myös vikapaikan laskennassa. Häiriötallentimia on sijoitettu kriittisimmille 220 kV:n ja 110 kV:n asemille. Sen lisäksi hyödynnetään releiden sisäisiä tallentimia. Tallentimet rekisteröivät häiriöiden nollavirrat, kiskojännitteet, vaihevirrat ja nollajännitteet. Binäärikanaviin kirjautuvat releiden havahtumiset, katkaisijan avautumiset sekä muut oleelliset vian tapahtumatiedot. Tallenteita seurataan tallenteiden keruu- ja analyysiohjelmalla STINA:lla, joka saa käytönvalvontajärjestelmästä häiriötallenteiden tapahtumatiedot. (14, s. 27.)

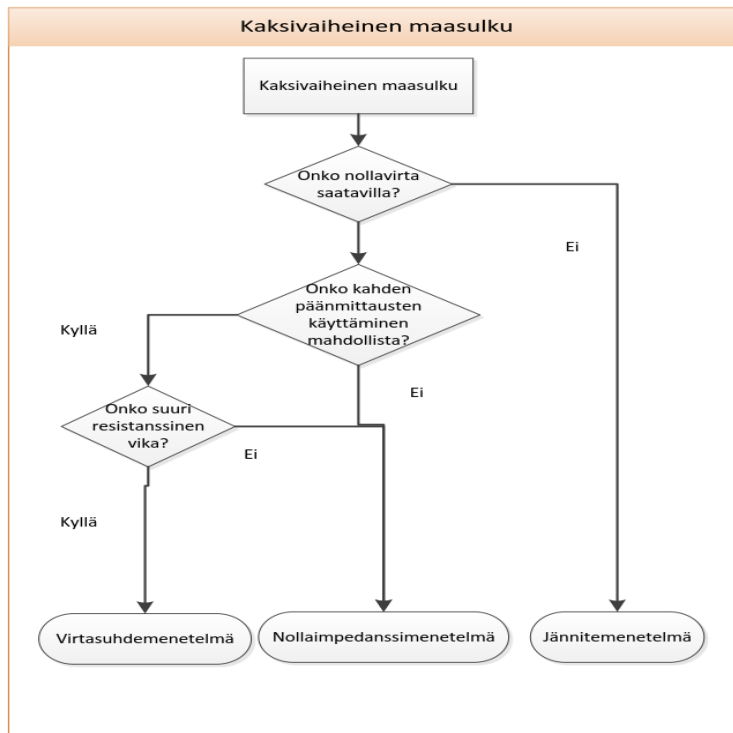
FALO on laskentaohjelma, joka käyttää hyväksi häiriötallenteiden vika-arvoja PSS/E-verkostolaskennassa. PSS/E (Power System Simulator for Engineering) on Siemensin kehittämä laskentasovellus, jolla voidaan mallintaa ja simuloida verkkoa. Vian etsinnässä FALO tekee koko ajan vikoja PSS/E-verkkomalliin ja vertaa niitä häiriötallenteen antamiin vika-arvoihin. Vian sijainti saadaan selville, kun laskentatulokset saavuttavat samat arvot kuin häiriötallentimen antamat tulokset. (14, s. 27.)

Vian syntyessä etsitään oikea häiriötallenne STINA Navigator –sovelluksella. Vika-arvot kuten vaihejännitteet ja -virtojen tehollisarvot, viallisen vaihejännitteen ja nollavirran välinen vaihe-ero ja myös vikatyyppi voidaan lukea STINA Comtrade Viewer -sovelluksella. (15.)

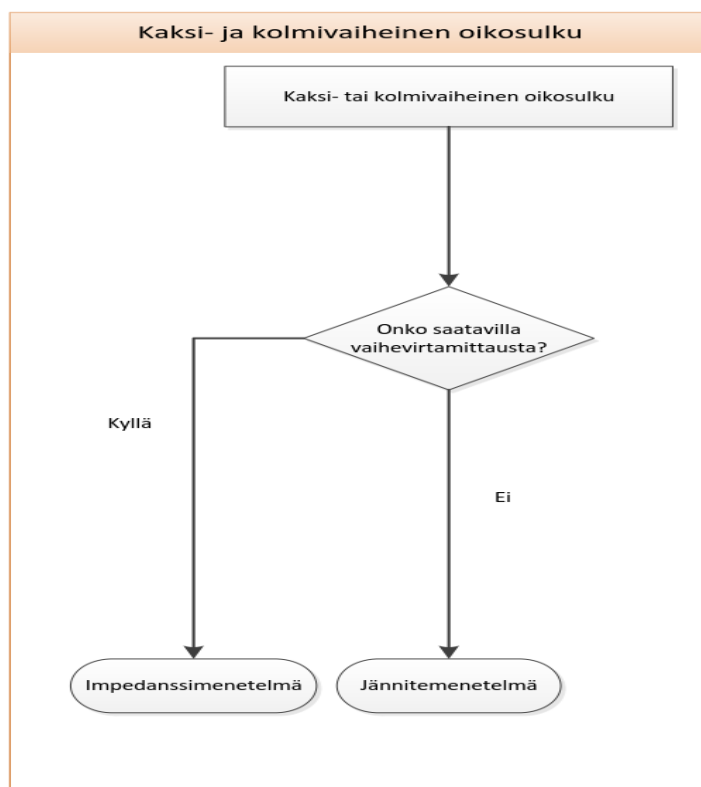
Vika-arvot syötetään vikapaikan laskentaa varten Maximo-sovellukseen. Maximo on laaja omaisuustietojärjestelmä, jossa esimerkiksi voidaan tutkia eri ase-
mien omaisuus- ja sijaintitietoja. Maximosta täytyy valita vikapaikan laskentaan
käytettävä laskentamenetelmä. Käytettävissä on 5 erilaista laskentamenetel-
mää: virtahaku, jännitemenetelmä, nollaimpedanssimenetelmä, reaktanssimen-
etelmä ja impedanssimenetelmä. Kuvat 10, 11 ja 12 esittävät laskentamene-
telmien valintaprosessia.



KUVA 10. Yksivaiheisen maasulun laskentamenetelmät (16).



KUVA 11. Kaksivaiheisen maasulun laskentamenetelmät (16).



KUVA 12. Kaksi- ja kolmivaiheisen oikosulun laskentamenetelmät (16).

Menetelmän valinnan jälkeen suoritetaan laskenta. Laskennan tuloksen perusteella alkaa FALO-laskentaohjelma muodostaa vikoja viallisen johtovälin solmuväleihin. Kun arvo on simuloitujen arvojen välillä, on vika mitä ilmeisimmin kyseisellä johto-osuudella, joka tallennetaan muistiin. Lopuksi FALO etsii vikapaikan syöttämällä 0,03 Ohmin vikoja johto-osuuksille, kunnes se saavuttaa tuloksen, joka on lähimpänä mitattua vika-arvoa. Tulos tallennetaan ja lähetetään takaisin Maximoon vikapaikkana. Mitatun ja simuloidun arvon prosentuaalinen erotus kuvastaa näin määritellyn vikapaikan todennäköisyyttä. (15.)

Maasulussa, jossa nollavirtaa ei ole saatavilla, käytetään laskennassa jännitemenetelmää. (15). Tällainen tilanne on mahdollinen vain sammutetussa verkossa, sillä sammutuskuristin kompensoi nollavirran maakapasitanssien kautta kulkevan kapasitiivisen maasulkuvirran melkein kokonaan. Jännitemenetelmä on hyvin epätarkka, sillä siinä verrataan mitatun viallisen vaiheen jännitettä suoraan simuloituun jännitteeseen. Mikäli vaihevirtoja ei ole mitattu, on se ainoa käytettävissä oleva laskentamenetelmä.

Nollaimpedanssimenetelmä (maasulku) käyttää vikapaikan laskennassa hyväksi viallisen vaiheen jännitettä ja nollavirtaa. Nollaimpedanssille Z_0 pätee:

$$Z_0 = \frac{U_V}{3I_0} \quad \text{KAAVA 3}$$

Z_0 = Nollaimpedanssi (Ω)

U_V = Vaihejännite (kV)

I_0 = Nollavirta (A)

Impedanssimenetelmässä (oikosulku) käytetään viallisen vaiheen jännitettä ja virtoja hyväksi. Impedanssi Z saadaan kaavalla 4:

$$Z = \frac{U_V}{I_V} \quad \text{KAAVA 4}$$

Z = Impedanssi (Ω)

U_V = Vaihejännite (kV)

I_0 = Nollavirta (A)

Reaktanssimenetelmä (maasulku) mittaa nollavirran, viallisen vaiheen jännitteen ja näiden kulmaeron perusteella vikapaikan. Se myös poistaa resistanssin laskennasta. Siinä verrataan mitattua ja simuloitua reaktanssia eli impedanssin imaginääriosaa. Imaginääriosaa lasketaan nollavirran ja vaihejännitteen avulla kaavalla:

$$X_0 = \sin \phi \frac{U_V}{3I_0}$$

KAAVA 5

X_0 = Reaktanssi (Ω)

Φ = Vaihekulma ($^\circ$)

Virtasuhdemenetelmä on kaikkein tarkin menetelmä, mutta se tarvitsee kahdenpään mittauksen eli molemmissa johdon päissä on virtamittaus. Tässä menetelmässä verrataan johtojen päiden virtojen suhdetta. Mikäli havaitaan vika haarajohdolla, se vertailee mitattua virtatulosta simuloituun tulokseen.

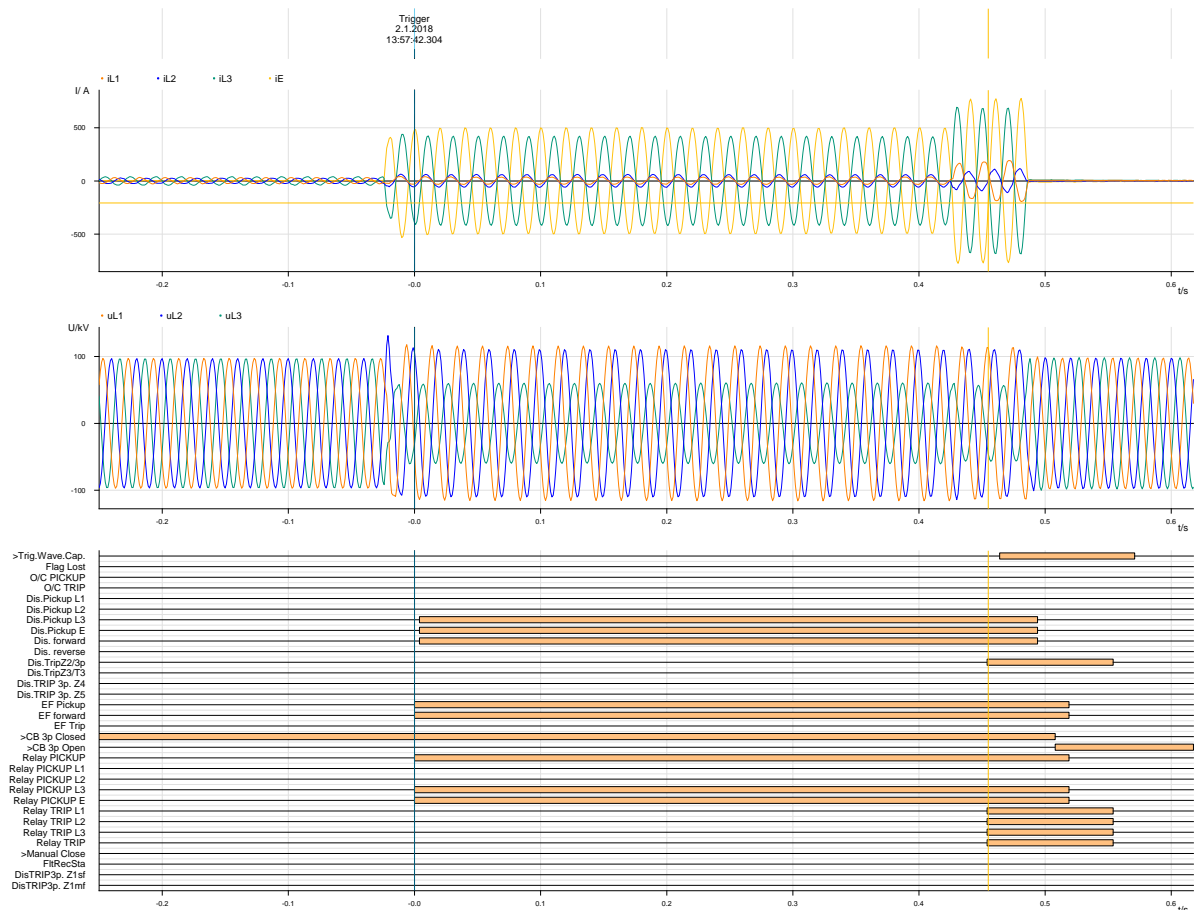
Häiriötallenteiden avulla paikannetut viat saadaan noin 1-5 %:n tarkkuudella kaikissa muissa maadoitetuissa verkoissa paitsi sammutetussa verkossa. Tulokset ovat tarkkoja ja luotettavia.

Kuvassa 13 näkyy tallenne, jossa esiintyy yksivaiheinen maasulku T-vaiheessa. Nollavirtaa syntyy ja vaihejännite alenee vikaantuneessa vaiheessa. Muut vaihejännitteet kasvavat, koska kyseessä on yksivaiheinen maasulku. Tästä saadun nollavirran ja vikaantuneen vaiheen jännitteen keskikohdasta otetaan arvot ja syötetään Maximoon, joka laskee vikapaikan. Tarkan vikapaikan määrittämiseksi on valittava oikea laskentatapa edellä mainitun laskentamenetelmävalinnan mukaisesti.

Häiriötallenteen alimpana oleva kaavio esittää suojareleen binääritulojen tapahtumatietoja häiriön aikana. Vika alkaa kohdasta -0,0 s, jolloin viallisen vaiheen vaihejännite laskee ja terveiden vaiheiden vaihejännitteet nousevat. Vika poistuu verkosta n. 0,5 s jälkeen. Häiriötallenteesta olevista releen havahtumistiedoista nähdään, että maasulkurele (EF) on havainnut ensimmäisenä vikatapah-tuman ja hieman tämän jälkeen on distanssirele (Dis PICKUP) havainnut vika-tapahtuman. Tapahtumatiedoista nähdään myös vian suunta, toisin sanoen dis-

tanssi on ilmoittanut vian olevan suojattavalla johdolla eli edessä (forward). Vika on ehtinyt olla verkossa 400 ms ja sen jälkeen releet antoivat katkaisijalle laukaisukäskyn. Laukaisu on kolminapainen eli kaikki vaiheet menevät jännitteetömiksi katkaisijan auetessa. Laukaisuajan perusteella voidaan päätellä olleen vian 2- vyöhykkeellä. Liitteessä 1 näkyy suurempi kuva häiriötallenteesta.

Häiriötallenteen perusteella voidaan todeta vika yksivaiheiseksi maasuluksi. Tarkastaessa vikavirtoja, kasvaa vikaantuneen vaiheen virta IL3 suureksi, samoin kuin nollavirta IE. Vikaantuneen vaiheen vaihejännite putoaa ja ”terveiden” vaiheiden jännitteet nousevat. Nämä ovat tyypillisiä piirteitä yksi vaiheiselle maasululle. Myös releiden tapahtumatiedoista nähdään, että distanssirele havaitsee (Pic up) vian L3-vaiheella.



KUVA 13. Vikaselvitys häiriötallenteesta (16).

4 KULKUAALTOMITTAUKSEEN PERUSTUVA VIKAPAIKAN LASKENTA

Kulkuaaltovikapaikkamittari on laite, joka paikantaa vikapaikan kulkuaallon etenemisen perusteella. Vikapaikannus perustuu vikapaikassa syntyvän kulkuaallon havaitsemiseen ja GPS:llä tahdistettujen kellojen käyttöön. Kulkuaaltomittaus on ainoa vikapaikannukseen käytettävä menetelmä kompensoiduilla johdoilla. (17.)

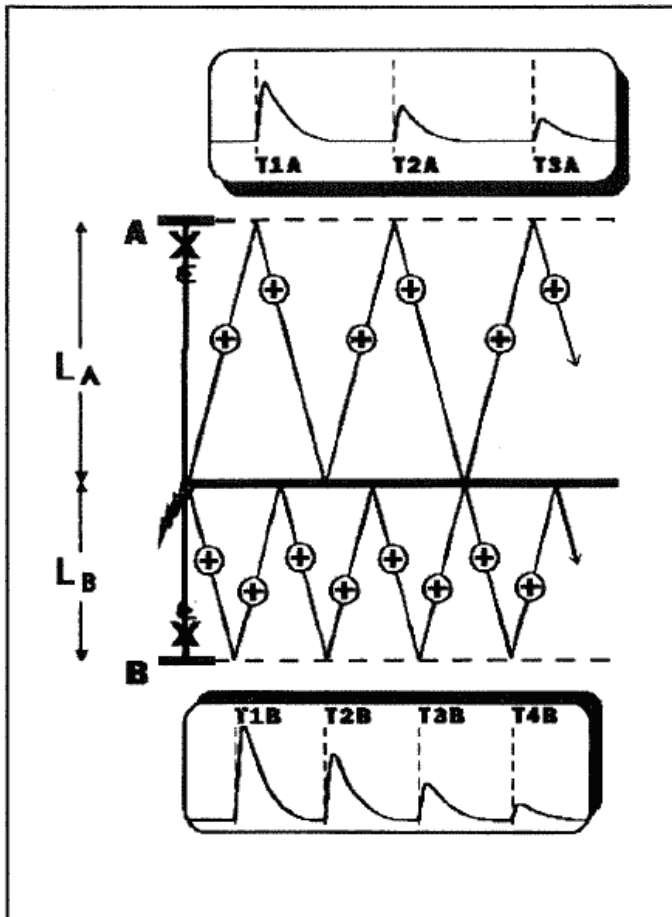
Qualitrol TWS FL 8- mittausjärjestelmä asennettiin verkkoon sen tarkkuuden, luotettavuuden ja käyttövarmuuden vuoksi. Se on jo vuosia hyväksi havaittu 400 kV:n verkossa. Myös Lapin 110 kV:n sammutettuun verkkoon saatiin täten luotettava vianpaikannus.

Kulkuaaltomittareiden avulla voidaan ehkäistä ns. hitaasti syntyviä vikoja kuten eristimen mekaaninen vika tai eristimen rapistuminen. Vikaantunut eristin päästää vikavirran lävitseen, jolloin vikavirta pääsee kosketuksiin runkopylvääseen aiheuttaen maasulun. Tällaisten vikatilanteiden paikantaminen on tärkeää, jotta voidaan ehkäistä eristimen toimintakyvyn lopullinen menetys. Myös partioimiseen käytetty aika saadaan vikapaikan tarkkuuden vuoksi vähäiseksi ja täten kustannustehokkuus paranee.

4.1 Vikapaikan määrittäminen

Vian syntyessä johdon jännitetaso muuttuu aiheuttaen valokaaren, jolloin vikakohdasta syntyy sähkömagneettisia impulsseja (transienttivirtoja) eli kulkuaaltoja molempiin johdon päihin. Transienttien suuruutta mitataan jännitemittayksiköillä ja virtapihtimittareilla. Tarkan vikapaikantamisen saavuttamiseksi täytyy johto-osuuksien molemmissa päissä olevien aikasyntonointien olla täsmällisiä. Tarkka aikasyntonointi on toteutettu GPS-vastaanottimien avulla. Mikäli vian synnyttämä transienttivirta tai -jännite ylittää liipaisukynnyksen, muodostaa kulkuaaltomittarin GPS tapahtumalle aikaleiman. GPS-aikasygnaalien vastaanotto-tarkkuudeksi on laitevalmistaja määrittänyt 100 ns. Tämä vastaa vikapaikan määrittelyssä tarkkuutta ± 60 m. Aikaleimat päivittyvät suoraan pääohjelmaan,

joka laskee tarkan vikapaikan sijainnin aikaleimojen erotuksien perusteella. (17.) Kuva 14 esittää yhdenpäänmittauksessa syntyvän kulkuaallon etenemistä johdolla. T1A-T3A ja T1B-T3B esittävät kulkuaallon saapumisaikoja ja heijastumisaikoja. Kulkuaaltomittaukseen perustuvia vikapaikanlaskentamenetelmiä on useampia, mutta Fingrid käyttää ainoastaan yhden- ja kahdenpään mittausmenetelmää, jotka ovat esitettynä seuraavissa laskukaavoissa.



KUVA 14. Yhdenpäänmittaus (18).

Tyypin A eli yhdenpään mittausmenetelmässä mitataan vian aiheuttaman kulkuaallon saapumisaikaa T1A ja vikapaikan heijastumisen välistä aikaa T2A. Virtaa mittaavalla yksiköllä ja kapasitiivisella jänniteulostulolla olevalla mittayksiköllä voidaan laskea mittaustuloksen perusteella vikapaikka. Kun aallon etenemisnopeus on tiedossa, voidaan laskea vikapaikan etäisyys kaavoilla 6 ja 7, joissa A ja B kuvastavat kulkuaaltomittareita. Yksittäisen vian analysoinnissa on tärkeää löytää oikeanlaiset kulkuaaltopulssit, joiden perusteella lasketaan vikapaikka. Tämä on mahdollista, mikäli saadaan hyvät heijastukset vikapaikasta

sekä tiedetään vikaantuneen verkon rakenne. Oikeiden viasta aiheutuneiden heijastusten löytäminen on vaikeaa, joten sen varmistamiseksi käytetään myös impedanssia mittaavia distanssireleitä vian paikannuksessa. Tällöin voidaan kulkuaaltomittauksella saada todella tarkka vikapaikan sijainti. Mittaustavassa on kuitenkin suuria epävarmuus tekijöitä, jotka liittyvät paluu pulssien manuaaliiseen tulkitsemiseen. Tästä johtuen Fingrid ei lähetä patiota haravoimaan vika-
paikkaa 1-pään kulkuaaltomittaus tuloksen perusteella. (18.)

$$L_A = \frac{\Delta t_A \cdot v}{2}$$

KAAVA 6

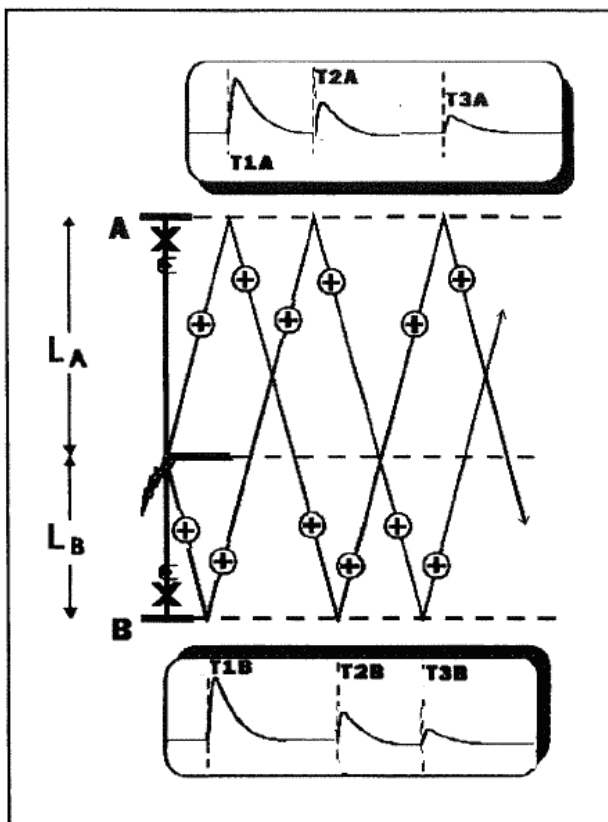
$$L_B = \frac{\Delta t_B \cdot v}{2}$$

KAAVA 7

missä

Δt = on aallon ja ensimmäisen heijastuksen välinen aikaero

v = kulkuaallon etenemisnopeus ($0,95 \cdot \text{valonnopeus}$)



Kuva 14. Kahdenpään mittaus (18).

Tyyppin D menetelmä on kahdenpään mittaus, jossa verrataan viasta aiheutuviin kulkuaaltojen saapumisaikojen erotusta. Mittarit tarvitsevat GPS –tasoista aikaa tarkan mittaustuloksen saavuttamiseksi. Tässä mittaustavassa on tiedettävä myös johdon pituus. Kuvassa 13 T1A-T3A ja T1B-T3B esittävät kulkuaallon saapumisaikoja. Tätä mittaussuunnitelmaa käytetään Fingridillä. Tämän menetelmän tulokset tulevat automaattisesti IQ+ Master Station-ohjelmistoon. Kaavoilla 8 ja 9 voidaan laskea molempien asemien mittaustulokset. (18.)

$$L_A = \frac{[L + (\Delta t_{A-B}) \cdot v]}{2} \quad \text{KAAVA 8}$$

$$L_B = \frac{[L + (\Delta t_{B-A}) \cdot v]}{2} \quad \text{KAAVA 9}$$

missä

L = johdon pituus

Δt = Ensimmäisten kulkuaaltojen saapumisaikojen erotus asemilta A ja B

4.2 Epäjatkuvuuskohdan vaikutus kulkuaaltoon

Epäjatkuvuuskohtia ovat muun muassa haarajohtimet ja sähköasemat. Tullessaan epäjatkuvuuskohtaan kulkuaalto jakaantuu ja sen suuruus muuttuu. Osa kulkuaallosta heijastuu takaisin ja osa etenee läpi sähköaseman kts. kuva 15. Vaimenemisen huomaa kulkuaallon amplitudin suuruudesta: mitä pienempi amplitudi sitä suurempi vaimeneminen ja aallonpituus. Heijastuneeseen kulkuaaltoon vaikuttaa aaltoimpedanssi (Z_0) ja sähköaseman impedanssi (Z_t). (18.) Seuraavalla kaavalla 10 voidaan laskea kulkuaallon suuruus.



KUVA 15. Kulkuaalto epäjatkuvuuskohdassa

$$\rho_{\text{jännite}} = \frac{Z_t - Z_0}{Z_t + Z_0} \quad \text{KAAVA 10}$$

$$\rho_{\text{virta}} = -\rho_{\text{jännite}}$$

$$Z_t = \frac{Z_0}{(n-1)}$$

n = johtojen lukumäärä

missä,

ρ_{voltage} = Jännitteen heijastumis kerroin

ρ_{current} = Virran heijastumis kerroin

Z_t = Sähköaseman impedanssi (Ω)

Z_0 = Aaltoimpedanssi (Ω)

Tämä virta tai jännite sijoitetaan taulukkoon 1 ja johtolähtöjen määrän (n) perusteella saadaan oikea kerroin heijastumiselle ja tämä vastaus kertoo kulkuaallon heijastumisen suuruudesta.

TAULUKKO 1. Kulkuaallon heijastumisen suuruus

ρ jännite (kerroin)	ρ virta (kerroin)	n
1	-1	1
0	0	2
-0,33	0,33	3
-0,5	0,5	4
-0,6	0,6	5

Sähköaseman läpi menevän kulkuaallon suuruus saadaan viasta syntyvän virran/jännitteen avulla kertomalla se kiskon johtolähtöjen lukumäärän (n) kertomalla. Esimerkiksi jos olisi neljän johtolähdön sähköasema ja viasta aiheutunut transienttivirta olisi 1 A suuruinen, niin taulukon 2 mukaan kerroin olisi 0,16 eli $1 \text{ A} \cdot 0,16 = 0,16 \text{ A}$ suuruinen kulkuaalto vaikuttaisi näihin johtolähtöihin. Heijastunut kulkuaalto olisi taulukon 1 mukaan 0,5 A, mikäli viasta syntynyt virta olisi 1 A.

TAULUKKO 2. Kulkuaallon jakautuminen johtolähtöihin

Sähköaseman läpi menevän kulkuaallon kerroin	n
1.0	2
0.33	3
0.16	4
0.1	5

Mikäli johto-osuudella on haaroja ja vika kohdistuu haaran osuuteen, antaa lasentaohjelma vikapaikaksi haaran kohdan. Kulkuaaltomittareilla voidaan mitata sellaisten sähköasemien yli, missä on vain kaksi johtolähtöä kuten kuvan 16 b) mittauksessa. Tämä tuo hyvän leikkauksen kustannuksiin, koska mittauksia ei tarvitse asentaa jokaiselle sähköasemalle.

Mikäli vika tulisi aseman "A" ja välissä olevan sähköaseman väliin, kulkuaalto jakaantuisi muihin sähköaseman lähtöihin. Täten asema "B": n saapuva kulkuaalto voisi olla liian vaimentunut ylittääkseen liipaisukynnyksen eikä antaisi tulosta, riippuen syntyneen kulkuaallon suuruudesta. (kuva 16 a). (17.)

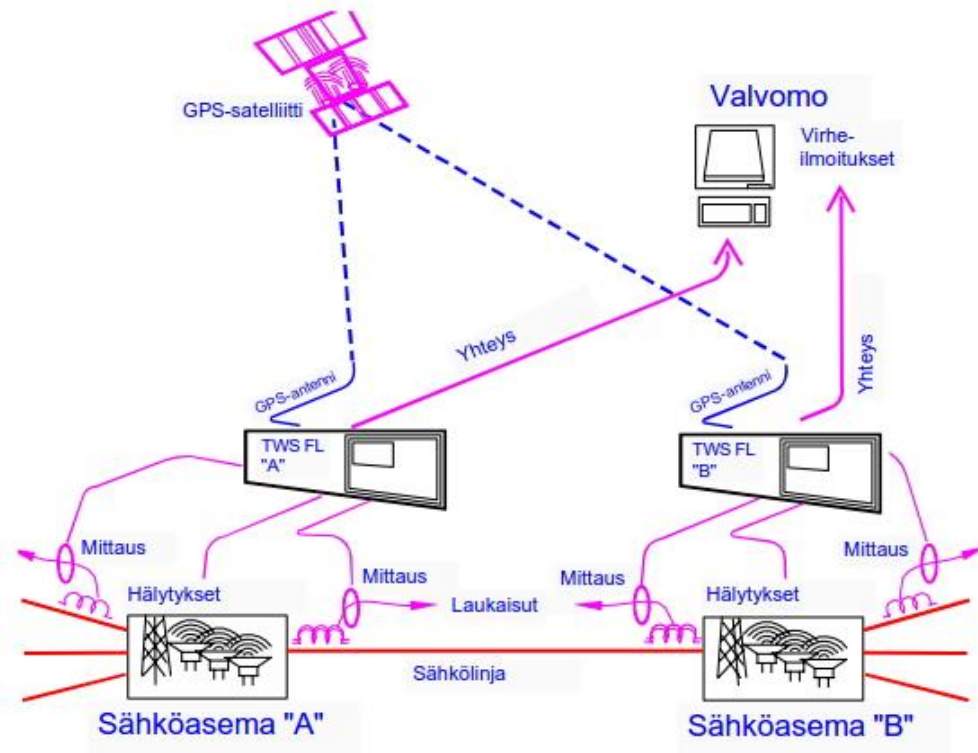
Vian ollessa LE-PY johto-osuudella seuraavat kulkuaaltomittarit reagoisivat vikaan:

- LE-PY
- IK-PY
- PR-PY
- PR-LE
- IK-LE

Kulkuaaltomittaukseen perustuvalla vikapaikan laskennalla ei pysty mittaamaan vikoja, jotka ovat mitattavan johto-osuuden ulkopuolella. Tällöin kulkuaaltomittari antaa tuloksen "Out of zone" eli vika ulkopuolella. Esimerkiksi PR-LE kulkuaaltomittaus antaa LE-asemalle tuloksen "Out of zone". Tästä saadaan tieto, missä suunnassa vika voisi olla. Vikapaikannuksessa tarkimman tuloksen saavat kulkuaaltomittarit LE-PY, IK-PY myös PR-PY, jos amplitudi ollut riittävä.

4.3 Järjestelmän kuvaus

Tyypilliseen järjestelmään kuuluu kaksi TWS FL-8 -kulkuaaltomittaria, jotka paikantavat vikapaikkaa mitattavan johto-osuuden molemmista päistä. Kulkuaaltomittarit sijaitsevat asemarakennuksen sisällä samassa relekaapissa kuin häiriötallennin. Molemmat yksiköt tarkkailevat transienttivirtoja virtamuuntajan toisiopuolelta vaihejohtimista. Transienttivirtoja mitataan joko virtapihtimittareilla releen ja virtamuuntajan välistä johtojen ympäriltä tai mittayksiköllä suoraan virtamuuntajan kapasitiivisesta ulostulosta. Aikaleimat tallentuvat suoraan iQ+ Master Station-ohjelmaan ja ohjelma laskee molempien mittareiden antamien aikaleimojen perusteella tarkan vikapaikan sijainnin. Kuvassa 18 nähdään kulkuaaltomittausjärjestelmän kokonaisuus.

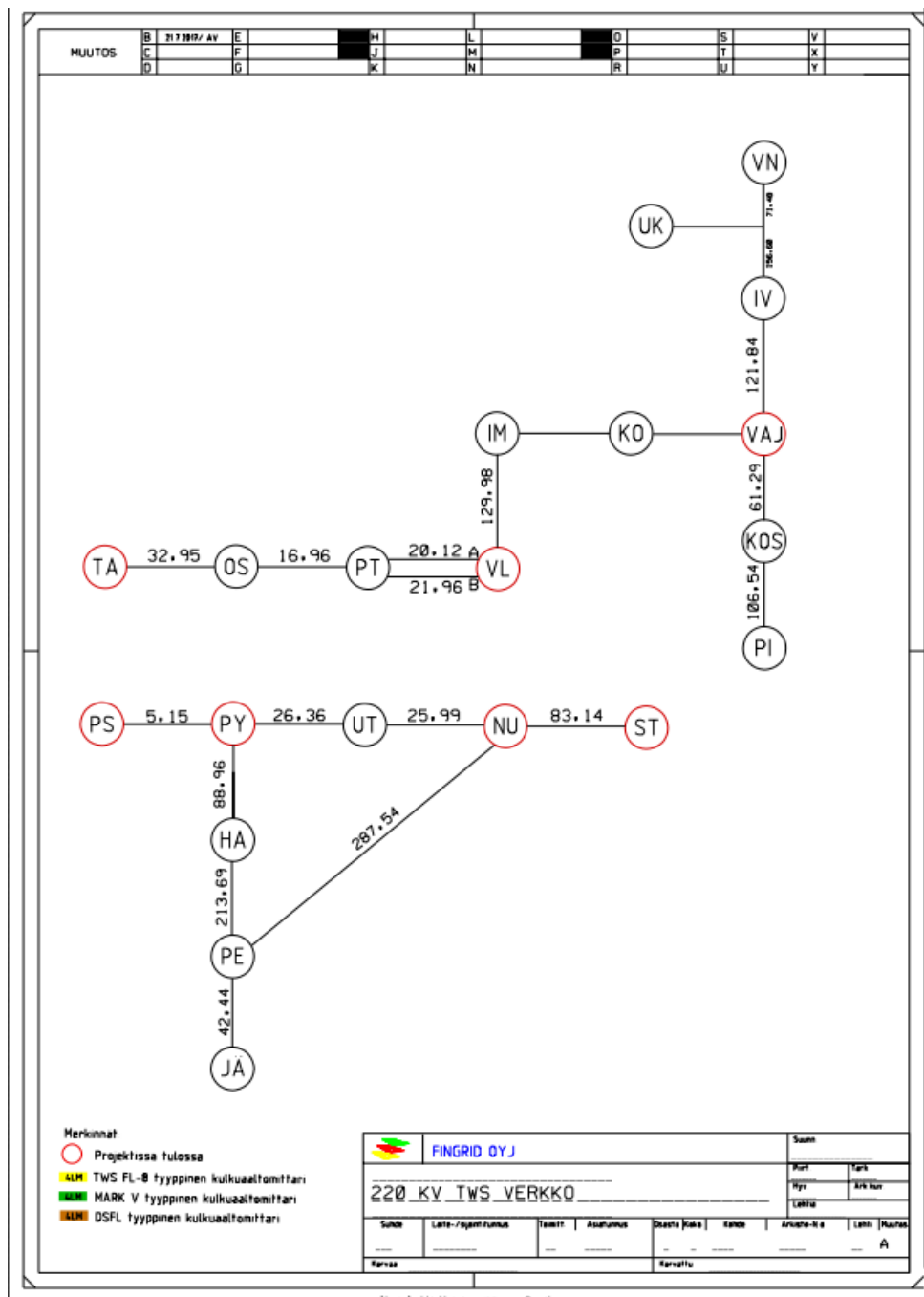


KUVA 18. Kulkuaaltomittausjärjestelmä

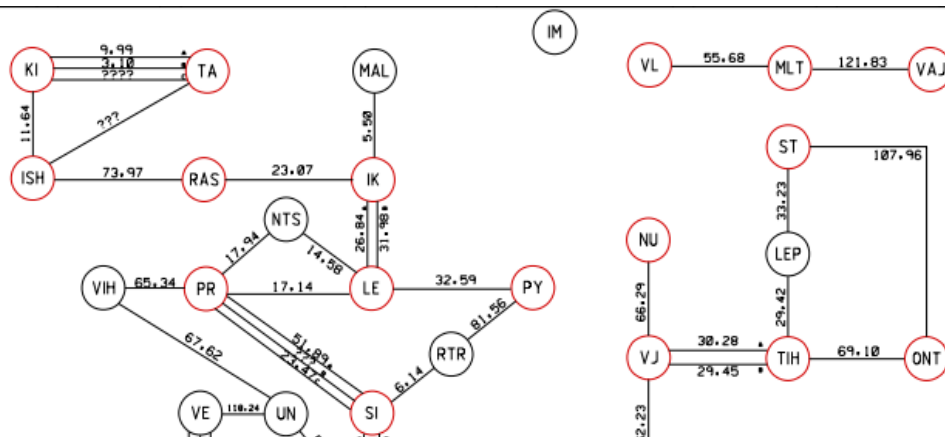
Kulkuaaltomittareita asennettiin Pohjois-Suomeen 18 kpl. Seuraavissa kuvissa 19 ja 20 on TWS -verkkoja, jossa punaisella värillä merkityt asemat ovat asennuskohteita. Asemien nimien lyhenteiden selitykset näkyvät alla olevassa työaikataulussa. Alleviivatut sähköasemat vaativat jännitteettömäksi kytkemisen eli keskeytyksen asennuksien ajaksi.

- VKO 39 Nuojua (NU) & Pyhänselkä (PS) (Muhos/Vaala)
- VKO 40 Leväsuo (LE) & Siikajoki (SI) (Oulu/Siikajoki)
- VKO 41 Pikkarala (PR) & Pyhäkoski (PY) (Oulu/Muhos)
- VKO 42 Raasakka (RAS) & Isokangas (IK), (II, Yli-II)
- VKO 43 Keminmaa (KI) & Isohaara (ISH) (Kemi/Keminmaa)
- VKO 44 Valajaskoski (VL) 2 kpl:ta & Taivaalkoski (TA) (Rovaniemi/Keminmaa)

- VKO 45-46 Vuolijoki (VJ) & Seitenoikea (ST) & Ontojoki (ONT) (Kajani/Kuhmo)
- VKO 47 Vajukoski (VAJ), Meltaus (MLT) (Sodankylä/Rovaniemi)



KUVA 19. 220 kV:n TWS-verkko



KUVA 20. 110 kV:n TWS -verkko

4.4 TWS FL-8 -kulkuaaltomittari

TWS –mittausjärjestelmän valmistaja on Qualitrol, joka on perustettu vuonna 1945. Qualitrol on alallaan tunnettu yritys Yhdysvalloissa ja eripuolilla Eurooppaa. Suomessa ei ole aikaisemmin käytetty kulkuaaltomittaria 220 kV:n ja 110 kV:n verkossa, sen sijaan 400 kV:n verkossa niitä on käytetty jo vuosia ja niistä on saatu hyviä kokemuksia. Keskusyksikköä on helppo käyttää digitaalisen näytön vuoksi. 4 GB sisäinen muisti mahdollistaa 2100 kpl paikannuksen tallentamisen 2.5 MHz näytteenottotaajuudella. Laitteeseen on myös mahdollisuus asettaa pinomuisti, joka poistaa yli menevät tallennukset vanhimmasta päästä. Laitteen tietoja voidaan seurata etäyhteyksin iQ+ Master Station -ohjelmalla tai verkkoselaimella.



KUVA 21. Kulkuaaltojen mittausyksikkö TWS FL-8

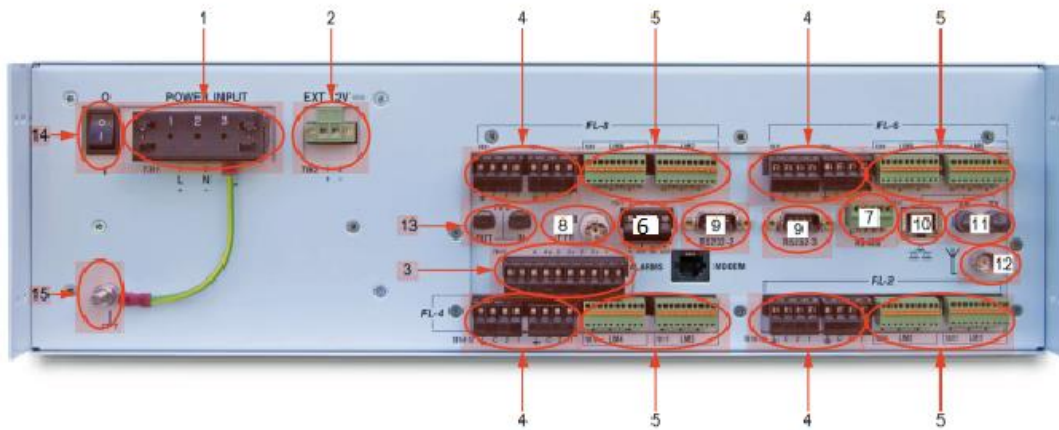
Kulkuaaltomittausta voidaan käyttää niin 400 kV :n, 220 kV:n kuin 110 kV:n verkoissa. Laittevalmistajan mukaan seuraavat paikat ovat suotuisia:

- sammutetut verkot
- sarjakompensoidut johdot
- kaksoisjohdot
- yli 100 km:n pituiset johdot
- haastava maasto
- vanhat linjat (alttiina vioille)
- raskaasti kuormitetut johdot
- sähköasemat, joissa ei ole vikaa paikantavaa relettä.
- johdot, jotka sisältävät tärkeitä haaroja, kuten tuulivoimalaitokset

(17.)

Takapaneelin liitynnät

TWS FL-8-kulkuaaltomittarilla on mahdollista mitata kahdeksaa eri johtolähtöä yhtäaikaaisesti. Kuva 22 esittää kulkuaaltomittarin takapaneelia, jossa numerolla 4 osoitetut sisääntulot esittävät laukaisujen digitaalisia sisääntuloja. Virta- tai jännitemittaukset asennetaan analogisiin sisääntuloihin 5. Kaikkia kahdeksaa ei tarvitse käyttää, voi käyttää esimerkiksi vain yhtä mittausta. Yksi mittausta tarkoittaa yhden johtolähdön mittaamista. Voidaan käyttää molempia mittaustapoja, niin virtamittausta kuin jännitemittausta yhtäaikaaisesti. Liitteessä 2 näkyy piirikaavio apujännitteistä, hälytyksistä ja yhteyksistä.



KUVA 22. TWS-FL 8 takapaneeli

Jännitesyöttö 220/110 VDC tuodaan laitteelle keskuksessa sijaitsevalta 6 A johdonsuojakatkaisijalta. Asennuksissa ei käytetty kaikkia takapaneelissa olevia liityntöjä, käytössä olivat ainoastaan: laukaisut, mittaukset, hälytykset, GPS, AC/DC sisääntulo, ethernet yhteys RJ-45 ja maadoitus. Taulukossa 3 näkyy takapaneelin liitynnät ja niiden selitykset. Numerot näkyvät kuvassa 22.

TAULUKKO 3. Takapaneelin liitynnät

Nro	Nimi	Merkintä takapaneelilla	Kuvaus
1	AC/DC Pistoke	TB1	3 nastainen AC/DC Teho lähde/sisääntulo
2	DC Pistoke	TB2	DC +12V Ulostulo (sähköt toiselle laitteelle)
3	Phoenix liitin	TB13 , TB3 FL1:lle	Hälytyksien (4kpl) ulostulo
4	FL8: 8*4-nastainen liitin	TB19-19, TB7, TB8, TB3 TB4, TB14-15	Digitaalisia sisääntuloja (Laukaukset kytetään tähän)
	FL1: 1*4 nastainen liitin	TB5	
5	FL8: 8*10-nastainen liitin	TB20,TB21,TB9,TB10 TB5, TB6, TB16, TB17	Analogisia sisääntuloja(Jännite-/virtamittaukseti kytetään tähän)
	FL1: 1*10 nastainen liitin	LM1	
6	Phoenix liitin	TB11	
7	5-Nastainen liitin	TB12	RS485 yhteys
8	BNC liitin (sisääntulo)		IRIG-B sisääntulo (TTL/AM)/PPM IN/PPH IN
	BNC liitin (ulostulo)		IRIG-B Ulostulo (TTL/AM) Saadaan myös tätä kautta aikaleima (FG ei käytä)
9	DB9 Liitin		RS232 yhteys
10	RJ45 liitin		Kiinteä ethernet yhteys (FG käyttää)
11	Kuitu liitin		Kuitu ethernet yhteys
12	BNC liitin		GPS antenni (100ns tarkkuus)
13	kuitu liitin tx/rx		PPS (Voidaan välittää aika toiselle laitteelle, jos on useampi laite)
14	päälle/pois kytkin		päälle/pois sähköt laitteelle
15	Maadoituspiste		Maadoitus

4.5 Käyttöönotto

Keskusyksikkö asennettiin samaan relekaappiin häiriötallentimen kanssa, koska laukaisutiedot tallentuvat myös häiriötallentimelle. Kuva 22 esittää Qualitrol TWS-FL 8 keskusyksikön kiinnityksen relekaappiin. Relekaapin asennuskorkeutta eikä syvyyttä ole stantardoitu, joten ne vaihtelevat eri asemilla. Asennuksista vastasi Siemens Oy. Fingrid Oyj:n vastuulla olivat tarkastukset, testaukset, laitteen konfiguraatiot ja oikeiden parametrien asettelu.



KUVA 23. TWS-FL 8 keskusyksikön kiinnitys relekaappiin

4.5.1 Hälytykset

Laitteeseen asetettiin kaksi erityyppistä hälytystä:

- TWS-laitteen sisäinen vika
- GPS-Hälytys

TWS-laitehälytys tarkoittaa laitteen sisäisen vian hälytystä. Laite antaa hälytyksen, kun laite käynnistetään uudelleen, laitteeseen asennetaan uusia päivityksiä tai laitteen virtalähde hajooa eikä laite sää sähköä. Hälytys annetaan myös, jos laitteessa on sisäinen korttivika tai laite sammuu.

GPS-vikahälytys tarkoittaa vikaa, joka kohdistuu GPS-antenniin, -johtoon tai liittimiin.

Molemmat hälytykset testattiin ennen käyttöönottoa. TWS-laitehälytyksen pystyi testaamaan siten, että laitteelle asennettiin uudet päivitykset. Päivityksien val-

mistumisen jälkeen laite käynnistyi uudelleen ja antoi TWS-laitehälytyksen, jonka pystyi toteamaan kaukokäyttökaapin i/o-kortilta.

GPS-vika pystyttiin toteamaan irrottamalla GPS-antennikaapeli laitteelta ja GPS-vika aktivoituu, kun GPS on ollut 5 minuuttia ilman yhteyttä. Vian pystyi toteamaan suoraan hälytyksiin kytketyltä releeltä tai kaukokäyttökaapin I/O-kortilta. Vian syttymisen jälkeen palautettiin GPS-antennikaapeli takaisin laitteelle. Viiden minuutin kuluttua GPS-vastaanottimen toimiessa vika kuittaantui.

4.5.2 GPS -yhteys

GPS on tarkin mahdollinen maailmanlaajuinen paikantamisjärjestelmä. GPS-antennijohto asennettiin TWS-takapaneelissa olevaan BNC-liittimeen. Sieltä johto liitettiin GPS-antenniin, joka sijaitsi antennille hyväksi katsotussa paikassa asemarakennuksen katonharjalla. Antennikaapelit olivat valmiina paketteina, ne olivat 30 m pitkiä RG6 kaapeleita, joiden päissä olivat BNC-liittimet. Antenni on puolipyörän muotoinen, mikä mahdollistaa signaalien vastaan ottamisen mistä suunnasta tahansa taivaalta. GPS kellotarkkuus on 60 ns ja laitteen tarkkuus 100 ns, joka tarkoittaa 30 m vikapaikannus tarkkuutta, kun kulkuaalto liikkuu valonnopeudella. Virheen ollessa nanosekunnin tarkoittaa se noin 30 cm:n tarkkuutta. (17.)

GPS-antennin hyvän suorituskyvyn saavuttamiseksi on antennilla oltava hyvä ja esteetön näkymä taivaalle. Antennin sijoittamisessa täytyi ottaa huomioon muut antennit, koska ne aiheuttavat toisilleen häiriöitä ja heikentävät toistensa suorituskykyä. Lähellä oleva 400 kV:n kenttä ja katkaisijan avautumiset aiheuttavat häiriöitä GPS-yhteyteen. Kulkuaalto tarvitsee nopeutensa vuoksi tarkan ajan vastaanottajan. Kulkuaalto etenee lähes valonnopeudella, joka on n. 300 000 km/s. $1\mu s$ vastaa noin 300 m:n epätarkkuutta. (17.)

GPS asennuksessa tulee ottaa huomioon seuraavat kohdat:

- katon muodot, jotta GPS-antenni ei jäisi harjan katveeseen
- antennin mahdollinen suuntaaminen etelään, koska suurin osa satelliiteista sijaitsevat etelässä.

- reitinvalinta on erittäin oleellinen häiriösuojauksen kannalta. Mielellään omalle hyllylle erilleen pienjännitekaapeloinnista.
- hyvä antennin sijainti ehkäisee 400 kV:n aiheuttamia häiriöitä
- maadoittaminen, sillä parannetaan jatkuvaa signaalin häiriötöntä yhteyttä
- antennin tukeva kiinnitys, jotta ehkäistään antennin irtoaminen

4.5.3 Laukaisut

Katkaisijan laukaisutiedot tulevat häiriötallenteille, jotka kytketään rinnan kulkuaaltomittarin digitaalisiin sisääntuloihin. Laukaisutietojen perusteella kulkuaaltomittari merkitsee vian joko ”high” tärkeäksi tai ”normal” normaaliksi. High priority time on aika, jonka sisällä tapahtunut havahtuminen merkitään tärkeäksi. Havahtumisen jälkeen kulunut aika on ”high priority time” esimerkiksi 400 ms. Mikäli katkaisija laukeaa tämän ajan puitteissa, merkitsee laite kaikki ajan sisällä tapahtuvat viat tärkeäksi. Tärkeät viat menevät suoraan STINA-järjestelmään.

Laitteella voidaan käyttää myös GOOSE- kommunikointia. GOOSE- viesti koostuu monikanavaisista lähetyksistä, joiden vastaanottaja ei kuittaa niitä saaduksi. Esimerkiksi laukaisutietojen tuominen kulkuaaltomittarille voitaisiin toteuttaa GOOSE- viestillä.

4.5.4 Etäyhteys

Etäyhteys mahdollistaa kulkuaaltomittarin tietojen seuraamisen ilman, että on konkreettisesti kaapelin kautta yhteydessä kulkuaaltomittariin. Tämä toteutettiin asennuksissa MPLS (Multiprotocol Label Switching) -kytkimen avulla. MPLS-kytkimen kautta tiedon siirto kulkeutuu suoraan kantaverkkokeskukseen. Valvomosta käsin voidaan seurata vikoja ja antaa korjaajalle tarkkoja vikapaikan sijainteja. Palomuurit suojaavat muiden käyttäjien pääsyn laitteelle. Etäyhteyden vuoksi ei tarvitse mennä paikanpäälle tekemään konfigurointia, laite päivityksiä tai parametrien muutoksia vaan ne voidaan tehdä omalta työpöydältä. Tämä säästää turhaa kulkemiseen käytettyä aikaa. Yhteys jaetaan MPLS-kytkimien avulla ja palomurein kantaverkkokeskuksesta muille sähköasemille. Kantaverkkokeskuksen pääkäyttäjä voi ohjailla käyttäjien oikeuksia.

4.6 Kapasitiivinen jänniteulostulo (luottamuksellinen)

Tämä luku on poistettu toimeksiantajan pyynnöstä.

4.7 Virtapihtimittaus

Virtapihtimittareilla mitataan viasta syntyviä transienttivirtoja. Virtapihtien havah-
tuessa antavat ne tiedon TWS-yksikölle ja GPS:ltä saadaan aikaleima. Virtapih-
timittareilla toteutettua mittaustapaa käytetään silloin, kun sähköasemalla on
useampi mitattavan jännitetaso johtolähtöjä.

Virtapihtimittarit asennetaan mittamuuntajalta suojareleelle tulevien vaihejohti-
mien ympärille (kuva 27). Ne kytketään TWS-yksikön analogisiin sisääntuloihin,
jotka näkyvät luvussa 4.4 takapaneelin liitynnät. Vian syntyessä kulkuaalto ete-
nee johtimia pitkin suoraan virtamuuntajan suojauskäämiltä virtapihtimittareiden
kautta releelle. Silloin virtapihtimittaus havaitsee vikapulssin ja GPS saa tällöin

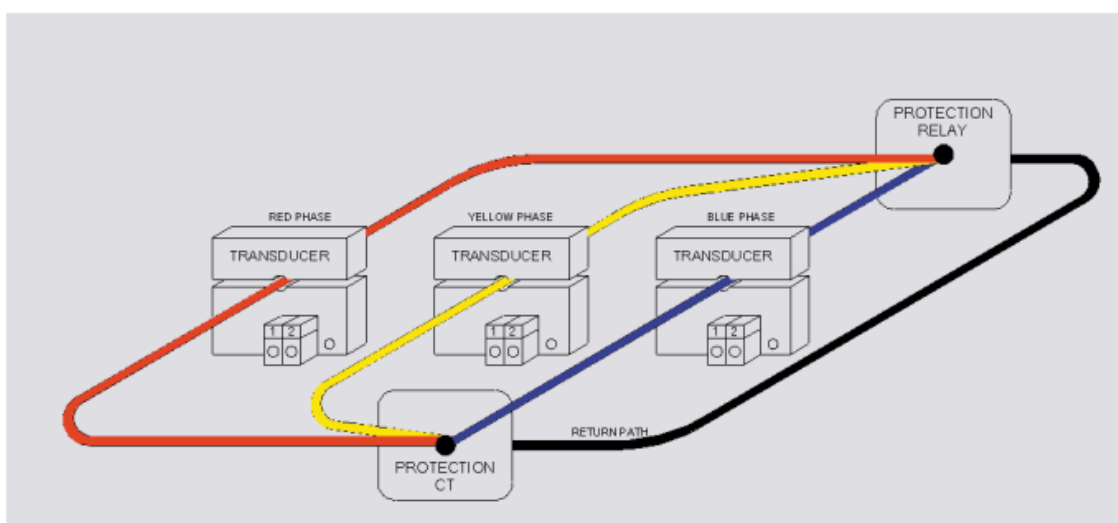
aikaleiman ja lähettää sen laskettavaksi iQ+ Master Station -ohjelmaan. Liite 3 sisältää myös virtamittauksen piirikaavion.

Virtapihtien asennuksessa tulee ottaa huomioon:

- mittaussensori mittamuuntajaan päin, jotta mittaus tulee oikeasta suunnasta (kuva 28)
- jokaiselle vaiheelle oma mittaus, jottei mittaustulos vääristy
- ei mitata virtapihdeillä, mikäli päättävä johto, silloin tehdään mittaus kapasitiivisesta jänniteulostulosta
- enintään 25 m kaapelit, koska pidemmät kaapelit vaimentavat kulkuaalosta saatua signaalia ja tulosten tulkinta vaikeutuu
- käytetään vain Qualitrolin valmistamaa kaapelia, koska valmistaja on näin ilmoittanut



KUVA 24. Virtapihtimittaus

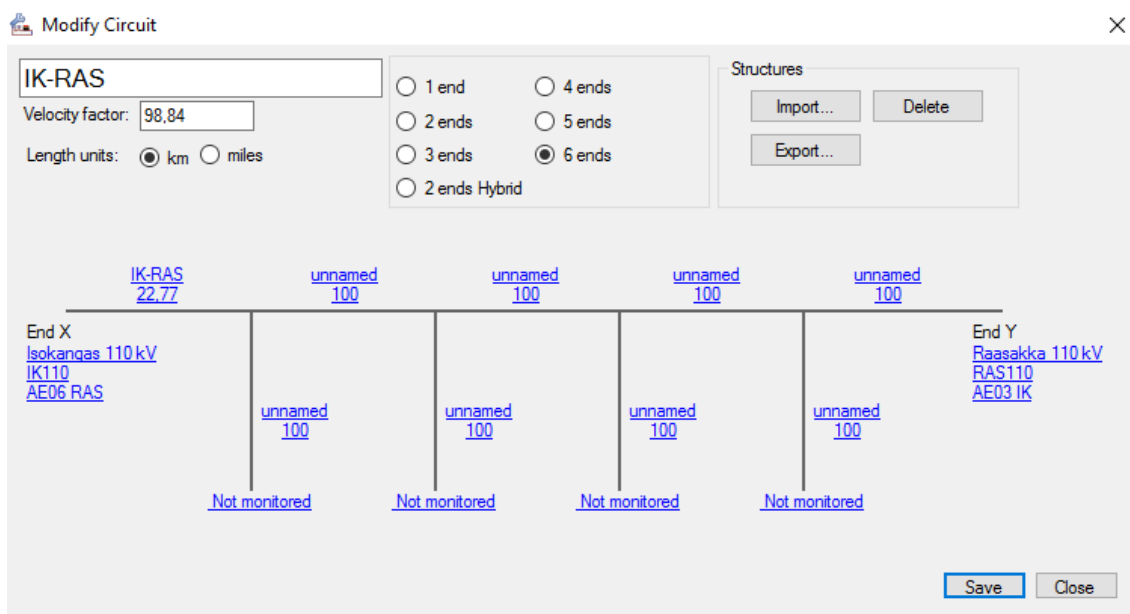


KUVA 25. Virtapihtimittauksen asennussuunta

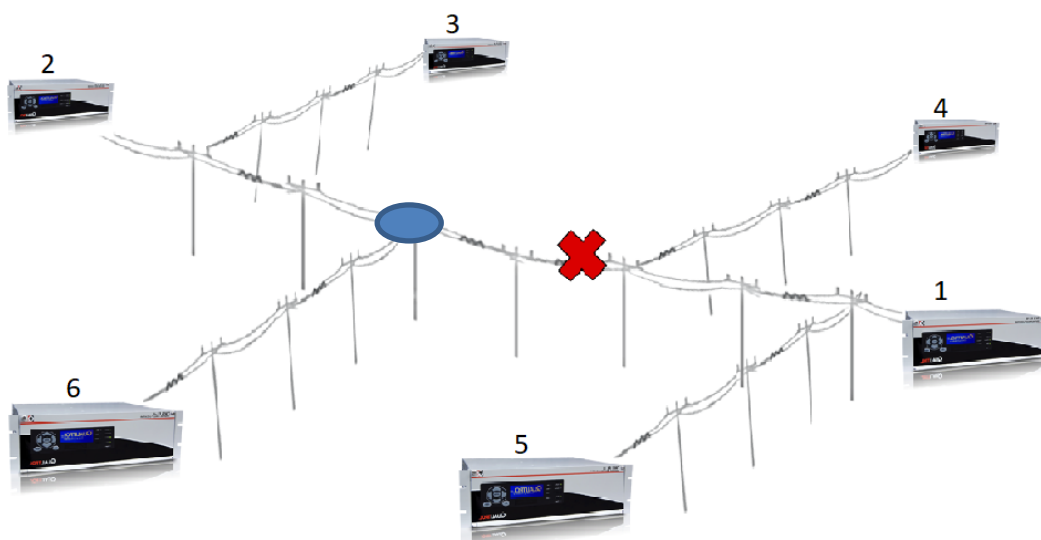
5 IQ+ VIKAPAIKAN ANALYSOINTITYÖKALU

IQ+ Master Station -ohjelma on Qualitrolin kehittämä sovellus, jota käytetään vian paikannukseen ja analysointiin. Ohjelma mahdollistaa satojen kulkuaaltomittareiden yhtäaikaisen käytön. Kulkuaaltomittarin yhteys on liitetty Fingridin omaan verkkoon, joka on salattu asemakohtaisin IP- osoittein. iQ+ Master Station -ohjelmalla lisätään halutut laitteet ja voidaan etäyhteyttä käyttäen tutkia verkon laatua ja mahdollisia vikapaikkoja. Vian syntyessä kulkuaaltomittari lähettää tiedon MPLS-kytkimen kautta IQ+ serverin tietokantaan, joka lähettää tiedon eteenpäin ohjelman käyttäjille. Myös on mahdollista synkronoida vikapaikannukset suoraan sähköpostiin. Ohjelmaa hallitsee yksi pääkäyttäjä, joka määrittelee, ketkä saavat käyttää ohjelmaa ja mitä oikeuksia heillä on.

Mittaukseen täytyy asettaa mitattavan johdon kulkuaaltomittareiden nimet, käytettävä jännitetaso ja mittausvälin pituus. Ohjelma mahdollistaa jopa kuuden yksikön yhtäaikaisen mittauksen käsittelyn. Vian ollessa verkossa saadaan hyvin monta tulosta koskien vian sijaintia. Johto-osuus, jossa on sekä maakaapeleita ja ilmajohtoa samassa mittausvälissä voidaan mitata hybridi-mittauksella. Hybridi-mittaukseen täytyy syöttää myös kaapelityyppien nimet. Kuva 29 esittää kuuden haaran mittauksia.



KUVA 26. Kuusihaarainen mittaus



KUVA 27. Esimerkki vikatilanne

Kuva 30 esittää tilannetta, jossa on kuusi mittauslaitetta. Mikäli keskelle syntyisi vika, niin seuraavat mittausvälit antaisivat oikean tuloksen: 1-2, 6-4, 3-5, 3-4, 6-1, 2-4, 3-1, 2-5 ja 6-5. Sininen pallo kuvaa haarakohtaa, johon kulkuaaltomittarit 3-6 antaisivat tuloksen.

5.1 Konfigurointi

Verkkoselaimen avulla pystytään asettelemaan tarvittavat konfiguraatiot ja päivittämään laitteiston ohjelmistot. IQ+ Master Station -ohjelmalla on mahdollista asettaa oikeat parametrit ja konfiguraatiot, mutta päivityksiä ei voi tehdä. Tässä luvussa kerron tärkeimmistä konfiguraatioista, jotka täytyy tehdä kulkuaaltomittarille ennen käyttöönottamista. Hälytyksiä oli kaksi kappaletta, jotka aseteltiin iQ+ Master Station ohjelmalla. Kuva 31 esittää verkkoselaimella avattua kulkuaaltomittarin kotisivua. Järjestelmäkohtaiset asettelut, aika-asetukset ja vianpaikannukseen liittyvät konfiguraatiot ja parametrit aseteltiin pääsääntöisesti verkkoselaimen avulla. Myös vikapaikannustallenteita on mahdollista tutkia verkkoselaimella.



KUVA 28. Konfiguroiminen

5.1.1 Järjestelmä

Järjestelmän konfiguraatiot tulee tehdä verkkoselaimen avulla. Liite 5 esittää järjestelmäkonfiguraatiota. ETH0 kuvaa laitteen etupaneelin ethernet-portin asetuksia ja ETH1 taas takapaneelin ethernet-portin, joka on kytkettynä ethernet-kytkimen avulla MPLS-kytkimeen. IP (Internet protocol) -osoitteet ovat kaikki asemakohtaisia, jotka tulee asettaa laitteisiin. Myös asetteluihin pystytään asettamaan DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) eli verkkoprotokolla, jonka yleisin tehtävä on jakaa IP -osoitteet samassa verkossa toimiville yksiköille. Tätä käytetään, mikäli käytössä on "time slave" eli rinnalla oleva kulkuaaltomittari, joka vastaanottaa aikaa ja "time master" antaa ajan. Työssä ei ollut käytössä kuin ainoastaan master, joten kyseistä verkkoprotokollaa ei käytetty. Järjestelmäasetuksiin kuului asettaa asemilla olevien kulkuaaltomittareiden nimet, jännitetasot ja verkonsuojaukseen käytettävät verkkoprotokollat SSH ja FTP (File Transfer Protocol). SSH (secure shell) on verkkoprotokolla, jonka avulla voidaan vaihtaa dataa laitteen ja käyttäjän kesken käyttämällä suojattua kana-

vaa. FTP tarkoittaa kommunikaatioprotokollaa, joka ohjaa tiedostojen siirtämistä verkon kautta laitteelta käyttäjälle. (17.)

5.1.2 Vikapaikannus

Vianpaikannusosiosta aseteltiin laitteelle kaikki vian paikannukseen liittyvät parametrit. Kaikki mitattavat johto-osuudet oli nimettävä ja määriteltävä niihin oikeat parametrit. Asetuksia pystytään määrittelemään niin verkkoselaimen avulla kuin iQ+ Master Station -ohjelman avulla. Kuvassa 32 näkyy johtokohtaiset vikapaikannuskonfiguraatiot.

Line 1

Line Module Name: AE04 RAS

Sampling Frequency: 1.25 MHz

Trigger Threshold: 16 %

Channel Gain: 3 %

High Priority Time: 200 ms

Trigger Lockout

Trigger Rate: 120 Triggers

Duration: 1 Minute(s)

Digital Inputs

Channel	Name	Normal State	Normal State Label	Alarm State Label
1	AE04Q0 RAS	Low	LOW	HIGH
2	D2	Low	LOW	HIGH

Note:
All the errors listed in finish pane should be resolved before sending the configuration to device. But the configuration with errors can be saved to database.

Send To Device

Save To Database

Cancel

KUVA 29. iQ+ Master Station, asettelujen määrittäminen

Tärkeää on asettaa johdon liipaisukynnys (trigger threshold) eli viasta syntyvän transienttivirran tunnistusraja oikean suuruiseksi, jotta laite ei johdosta aiheutuvaasta kohinasta antaisi vääriä hälytyksiä. Rajan ylittyessä laite havahtuu ja lähettää GPS tiedon, joka antaa aikaleiman. Epäjatkuvuuskohtien aiheuttama vaimennus kulkuaaltoon määrittää herkkyyden asettelun. Osassa voi olla johto-osuuden varrella johtohaaroja. Mikäli vika kohdistuu haaralle voi kulkuaalto vaimentua niin pieneksi, ettei mittalaitteen aseteltu liipaisukynnys ylity ja täten ei reagoi viasta syntyvään kulkuaaltoon. Qualitrol on ilmoittanut säädön olevan 20uA – 0,5 A, joka vastaa asetusta 4-100%. Valmistajan antama oletusarvo on 20%. Hyvä esimerkki oli ST-ONT välisellä johto-osuudella ollut vika. Ainoastaan ST aseman kulkuaaltomittari sai tuloksen eikä ONT kulkuaaltomittari havahtunut

vikaan ollenkaan. Vikapaikaksi osoittautui Kuumun-haara, joka vaimensi niin paljon kulkuaaltoa, ettei ONT aseman kulkuaaltomittarin liipaisukynnys ylittynyt.

Samoin aseteltiin oikean suuruinen kohinan vahvistuminen (channel gain), joka saa näyttämään pienetkin verkossa syntyvät viat kuten eristimen vuotoviat. Liiallinen kohinan vahvistaminen vahvistaa verkon omaa kohinaa, joka voi tuottaa ongelmia edellä mainitun liipaisukynnyksen kanssa. Vahvistuksen suuruuden arvo on valmistajan mukaan 50uA-2mA (0%-100%). Vahvistuksen oletusarvo 3 %.

"High priority time" asettelulla priorisoidaan saapuvien vikojen tärkeyden suuruutta. Asettelun suuruus voidaan asettaa 200–4000 ms, joka vastaa suojausajan toiminta-aikaa. Aika tarkoittaa vian syntyvän jälkeistä aikaa, jonka sisällä katkaisijan laukaisu tekee syntyvän vian tärkeyden suureksi. Esimerkiksi suojausreleen 1-vyöhykkeen laukaisuaika on noin 100 ms, mutta todellisuudessa laukaisu tapahtuu välittömästi. Silloin aseteltu 200 ms "high priority time" riittää, sillä 200 ms ajan sisällä tapahtuu laukaisu. Tämä 200 ms on aseteltu oletusarvo. Hyvä on myös säätää tämä kyseinen arvo esimerkiksi 500 ms:iin, koska 2-vyöhykkeen laukaisuaika on 400 ms. Tällöin ei 200 ms aseteltu arvo riitä, vaan viat tulevat olemaan kaikki prioriteetiltaan "normaaleita" eikä "suuria".

Näytteenottotaajuus tarkoittaa näytteiden välistä aikaa eli mitä suurempi näytteenottotaajuus, sitä enemmän saadaan näytteitä tuloksesta. Näytteenottotaajuudeksi valittiin 1.25 MHz. Näytteenottotaajuuksia, joita laitteella pystyi käyttämään olivat : 20 MHz, 10 MHz, 5MHz, 2.5 MHz tai 1.25 MHz. Tämä parantaa päämittaustulosta, mitä suuremmaksi näytteenottotaajuutta asetellaan. Kaava 10 esittää laskutoimitusta, jonka avulla saadaan laskettua näytteenottotaajuudesta näytteenottotiheys sekunteina.

$$t = \frac{1}{f}$$

KAAVA 10

t = näytteenottotiheys (s)

f = näytteenottotaajuus (Hz)

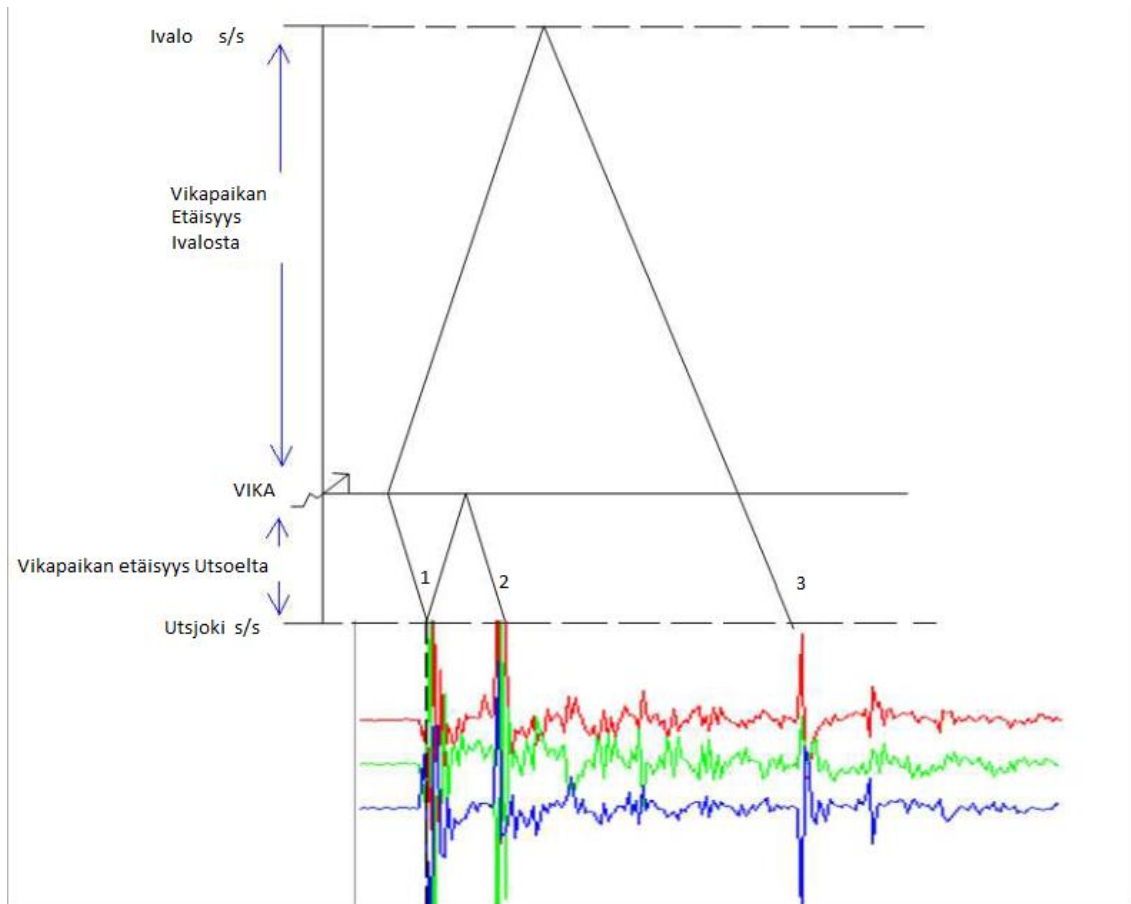
Hälytyksien konfiguraatiot tehtiin iQ+ Master Station ohjelmalla. Valitsimme ainoastaan kaksi hälytystä ”GPS-vika” ja ”TWS vika”. Nämä kyseiset viat ovatkin kerrottu jo tarkemmin edellisessä luvussa 4.5.1.

5.1.3 Aika-asetukset

Aika-asetuksissa oli valittava ajan mittaukseen käytettävä laitteisto. Fingrid käyttää ainoastaan GPS:ää, sillä se on luotettava, täsmällinen ja tarpeeksi tarkka menetelmä. GPS- antennikaapelin pituudet täytyi asetella asetteluihin. Mikäli kaapelin pituus ylittää 45 metriä on asennettava vahvistin vahvistamaan signaalia, koska signaali vaimenee kaapelin pituuden kasvaessa.

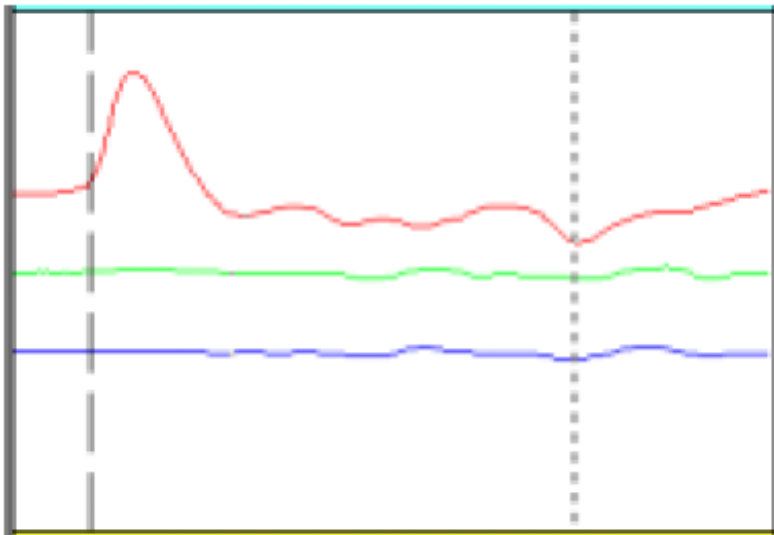
5.2 Datat analysointi

iQ+ ohjelmalla pystyy myös katsomaan reaaliaikaista normaalia melua, joka tulee mm. relekaapista. Viasta syntyvän kulkuaallon heijastuksia voidaan tutkia iQ+ ohjelmalla. Aaltomaisuus on yleensä vian aikana vaimenevaa ja aallon reuna pienenee valokaaren poistuessa. Vaimeneva aalto johtuu kulkuaaltomittarin ja vikapaikan välisistä heijastuksista. Teoriassa voidaan jännite- ja virtamittauksella tutkia yhdenpäänmittaustuloksesta vikapaikkaa, mikäli viasta syntyvä transienttivirta ja -jännite on tarpeeksi suurta ja viasta kohdistuu tarpeeksi suuret heijastukset kulkuaaltomittarille.

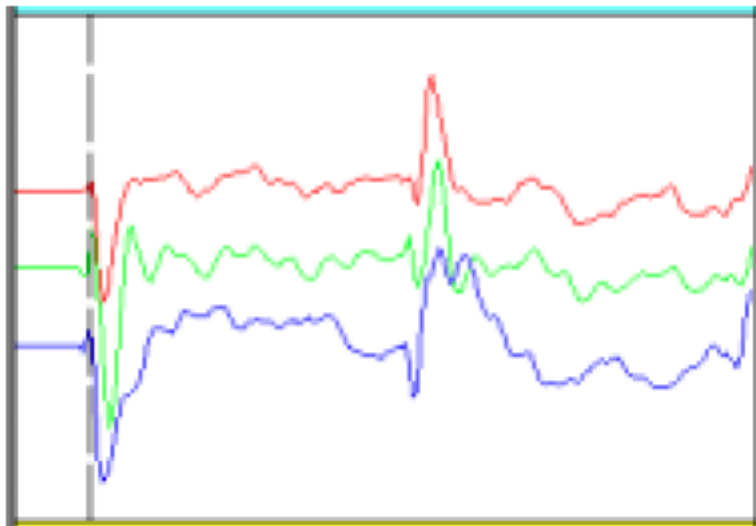


KUVA 30. Yhdenpään mittaustuloksen analyysi

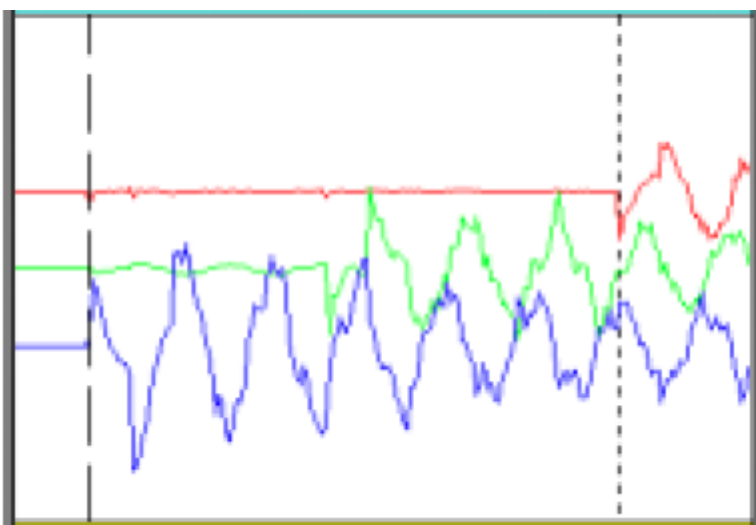
Kuvan 33 ensimmäinen pulssi kuvaa ensimmäistä kulkuaaltoa, joka tulee viasta Utsjoen asemalle. Toinen pulssi on Utsjoelta vikapaikkaan ja takaisin heijastunut kulkuaalto. Kolmas pulssi kuvastaa Ivalon asemalta heijastunutta kulkuaaltoa. Ohjelmalla voidaan asettaa cursorit saapuvan kulkuaallon kohdalle ja heijastuneen kulkuaallon kohdalle. Ne antavat suoraan vikapaikan etäisyyden kilometreinä. Tätä ei päässyt työssä testaamaan, sillä emme saaneet tarpeeksi hyvää tulosta yhdenpään mittauksista, että olisimme voineet paikantaa vian sen perusteella. Kuvat 34–37 esittävät erilaisten vikatyypin käyttäytymisiä kulkuaaltojen kannalta. Värit punainen, vihreä ja sininen kuvastavat vaiheita R, S ja T.



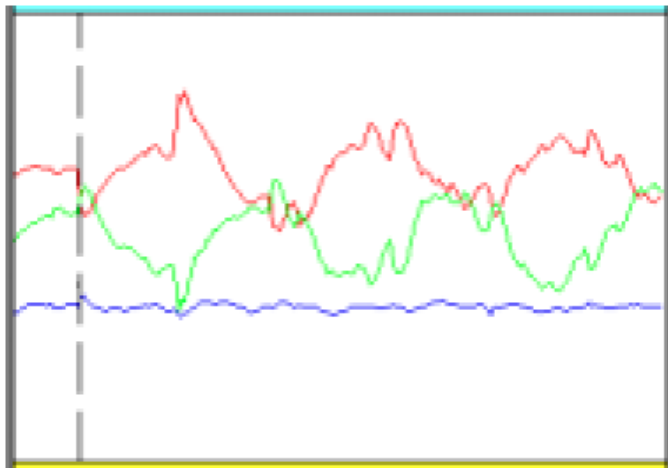
KUVA 31. Yksivaiheinen maasulku



KUVA 32. Suora salamanisku



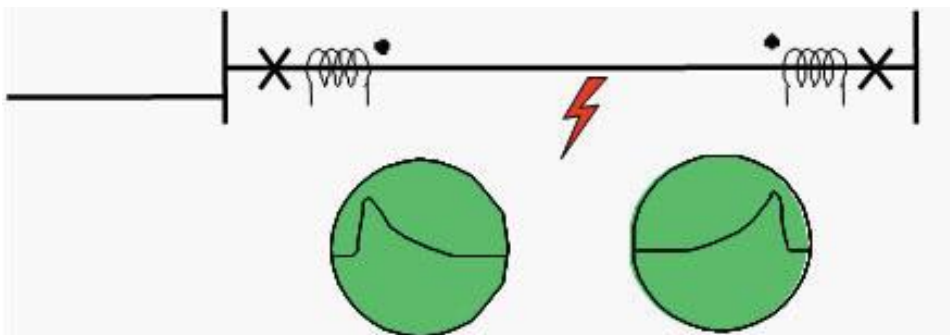
KUVA 33. Katkaisijan avautuminen



KUVA 34. Kaksivaiheinen oikosulku

Vika mitattavalla johto-osuudella

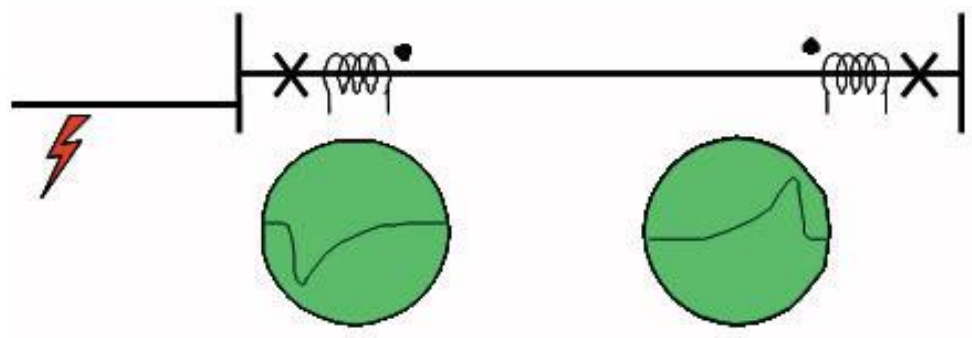
Kuva 38 esittää virtapihtimittauksella tai jännitemittauksella suoritettua mittausmenetelmällä havaittua vikaa. Tällöin vikaa rekisteröivät mittalaitteet saavat saman polarisaation, josta voi päätellä vian olevan mitattavalla johdolla. Ohjelma laskee aikaleimojen erotuksen perusteella vikapaikan. Tuloksen tulkinta tapahtuu vian analysointityökalulla IQ+ Master Station-ohjelmalla.



KUVA 35. Vika johto-osuudella

Vika mitattavan johto-osuuden ulkopuolella

Mitattavan johto-osuuden ulkopuolella olevia vikoja ei voida paikantaa. Kuva 39 esittää vikatapahtumaa, joka on johto-osuuden ulkopuolella. Mittalaitteet havaitsevat vikapaikasta aiheutuvat vastakkaiset polarisaatiot, jolloin voidaan päätellä vikapaikan sijaitsevan johto-osuuden ulkopuolella. Laite antaa tulokseksi ”out of zone”. Aikaleimojen perusteella voidaan päätellä missä suunnassa vika on. Mikäli kulkuaallon suuruus on vaimentunut niin paljon, ettei toinen pää saa aika-leimaa, on tehtävä yhdenpäänmittauksen perusteella tulkinta vian sijainnista.



KUVA 36. Vika johdon ulkopuolella

6 KULKUAALTOMITTAUKSEN TULOKSET

Tässä luvussa esittelen kulkuaaltomittarin laskemia vikapaikkoja, kuinka tarkkoja ne ovat todellisuudessa ja analysointityökalun käytettävyyttä. Vikoja tapahtui vähemmän, mitä olimme odottaneet työn alkaessa.

6.1 Vikapaikan määrittämisen tarkkuus todellisissa vioissa

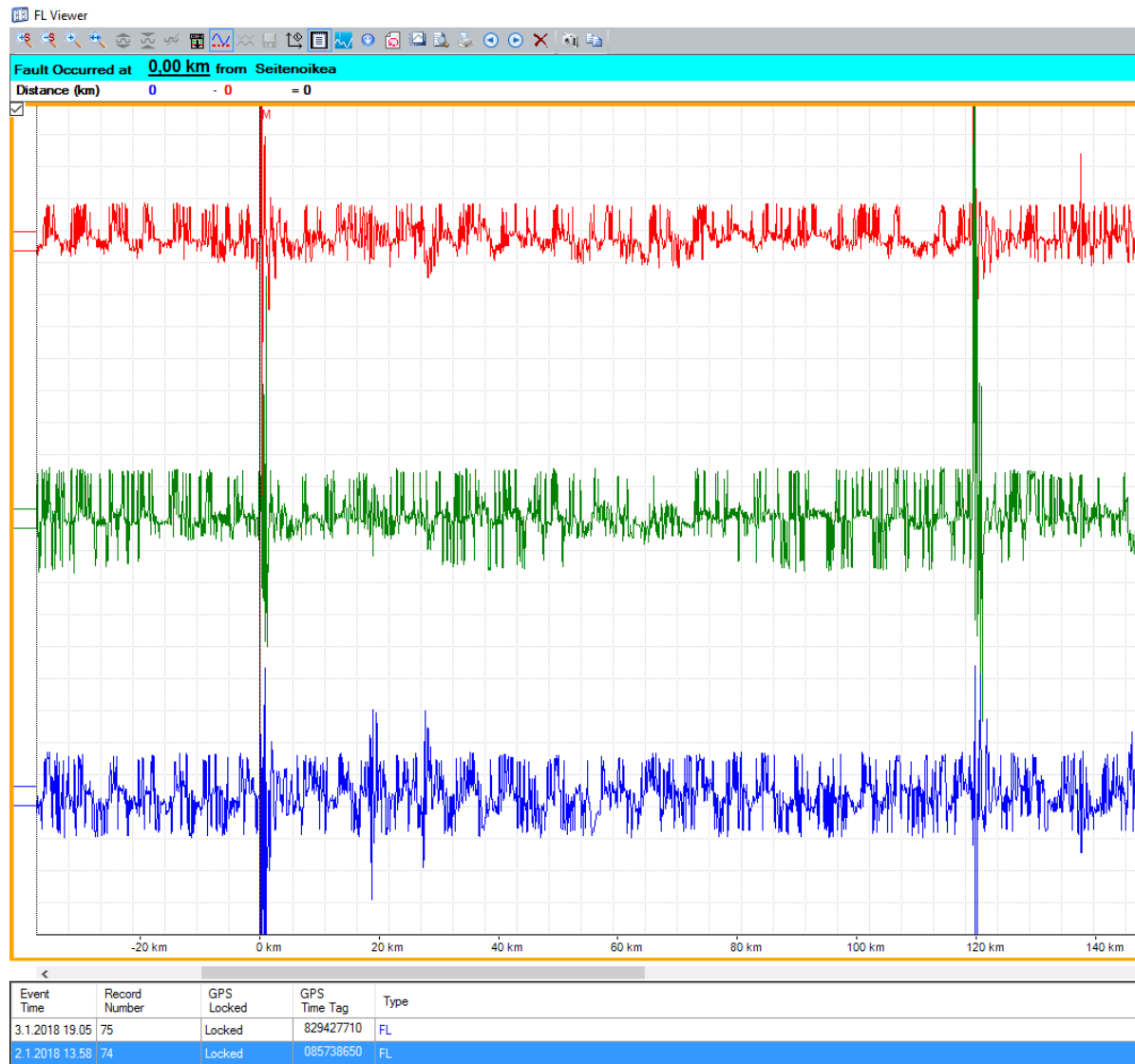
Vika ONT-ST 2.1.2018

Vika syntyi vierasverkkoon Kuumun haaralle. Vika poistui jälleenkytkennöillä (AJK). Vikapaikkaa oli vaikea paikantaa kulkuaaltomittauksella, koska ainoastaan ST päässä oleva kulkuaaltomittari sai aikaleiman. Viasta syntyvä kulkuaalto ja heijastukset eivät olleet riittävän suuret, jotta siitä olisi voinut päätellä vianpaikan. Vianpaikkaa laskettiin myös nollaimpedanssimenetelmällä häiriötallenteiden perusteella. Myös johtolähdön molempien päiden distanssireleet ilmoittivat vian osuneen 2-vyöhykkeeseen ja tästä pystyi päättelemään vian olleen haaralla. Tarkempaa sijaintia ei saada selville näiden tulosten perusteella.

Sähköasemat ja haarajohtimien vaikutukset kulkuaallon amplitudin vaimentumiseen oli nähtävissä, koska ONT päässä oleva kulkuaaltomittari ei reagoinut mitenkään. Tapaus osoitti, ettei liipaisukynnyksen oletusarvot ole aina parhaita mahdollisia arvoja, joita laitteelle asetellaan. Liipaisukynnyksen sopivaa arvoa on hankala määrittää, siitä syystä käytetään tehtaan antamia oletusarvoja. Tämä vika oli opettavainen, koska nyt tiedetään asettaa liipaisukynnystä alemmaksi sellaisissa kohteissa, missä on haarajohtimia tai muita amplitudin vaimentamiseen aiheuttavia tekijöitä.

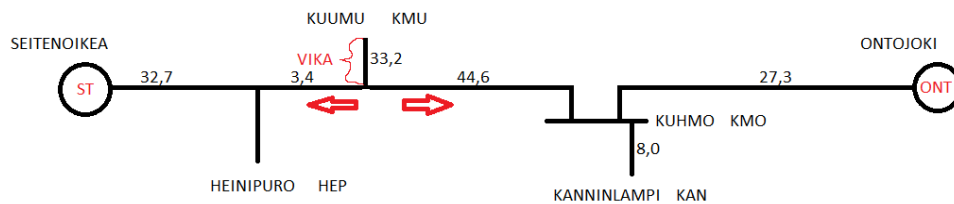
Laiteisiin aseteltavat oletusarvot muutettiin herkemmäksi tämän vikatilanteen jälkeen. Herkistäminen tehdään alentamalla liipaisukynnyksen arvo niin alas, että havahtumisia syntyi jatkuvasti ja sen jälkeen yksi % kerrallaan alennetaan liipaisukynnyksen arvoa ja etsitään sopiva arvo, jolla laite ei reagoi normaaliin verkonkohinaan ollenkaan. Tällöin laite on käytännössä herkimmillään. LIITE x esittää ST-ONT johtokaaviota. ST päässä olevan kulkuaaltomittarin antama tu-

los on esitetty kuvassa 40. Viasta aiheutuvasta kulkuaallosta ei voitu päätellä vikapaikan sijaintia



KUVA 37. Mittaustulos

Vika todennettiin häiriötallenteiden perusteella T-vaiheen maasuluksi. Distanssien ja laukaisuaikojen perusteella pääteltiin vian olevan Kuumun haaralla. Asiantuntijan tullessa Kuumun haaralle oli keli ollut lumisateinen ja sen myötä epäiltiin kuuran aiheuttaneen maasulun T-vaiheeseen. Kuumun haara on 33 km pitkä, joten vikapaikan tarkkuudeksi voidaan asettaa 33 km. Tarkempaa vikapaikkaa ei tutkittu, koska myöhempää häiriötä ei ilmennyt. Kuva 41 esittää vikapaikkaa ja kulkuaallon etenemistä johdolla.



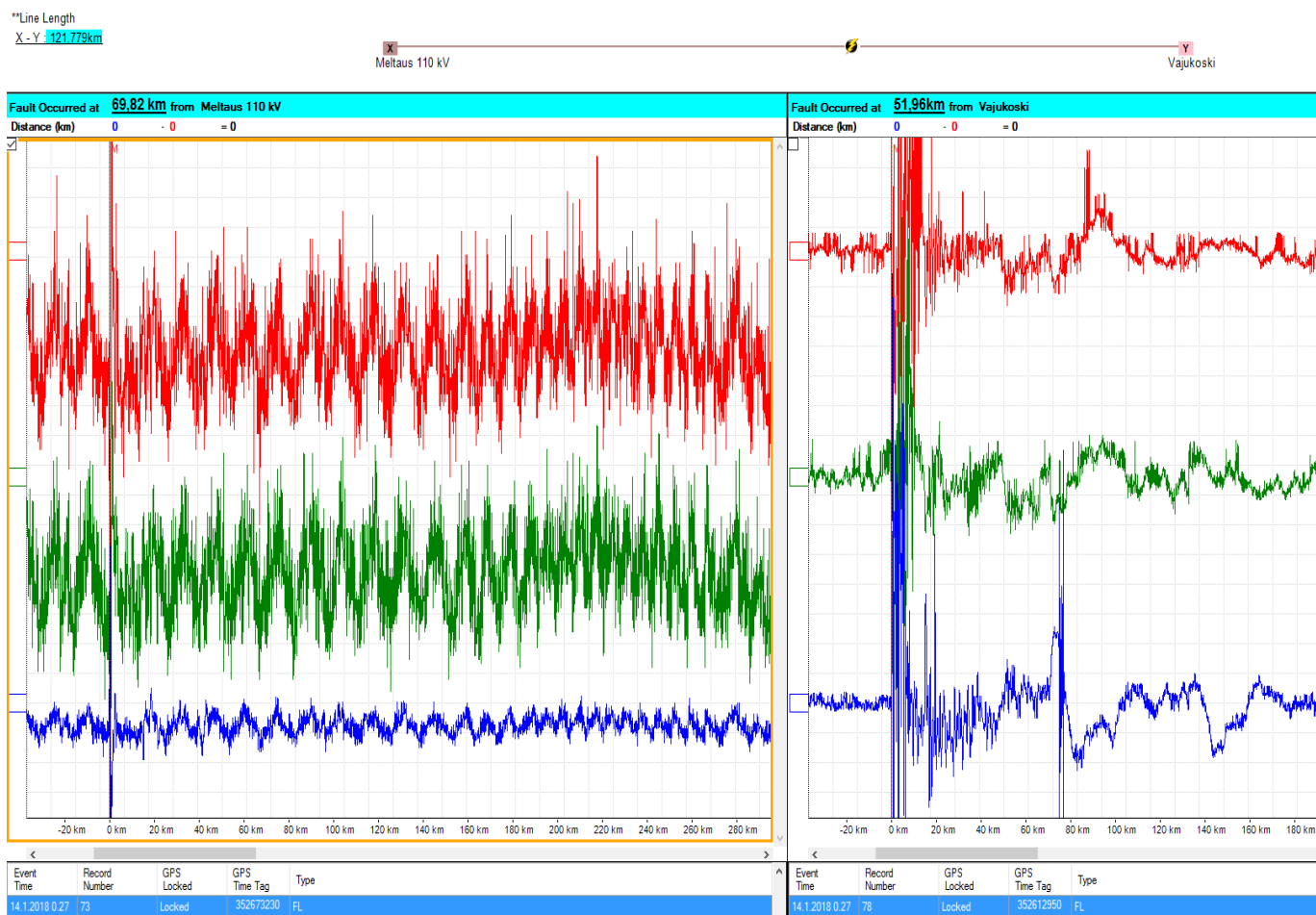
KUVA 38. Vikapaikka ST-ONT johdolla

Vikoja MLT- VAJ johto-osuudella:

- 14.1.2018 1 kpl
- 23.1.2018 2 kpl
- 24.1.2018 2 kpl

MLT-VAJ välisellä johdolla tapahtui 14.1. ensimmäinen häiriö. Kyseessä oli T-vaiheen maasulku, joka ei sammutuskelojen avulla sammunut. Maasulkua ei saatu sammutetuksi, sillä johtimet olivat kiinni toisissaan aiheuttaen jatkuvan maasulkuvirran pääsyn vaihejohtimiin. Syynä maasulkuun oli kuura. Kuura oli painanut niin paljon ukkosjohdinta alaspäin, että ukkosjohdin oli päässyt kosketuksiin vaihejohtimen kanssa ja virta päässyt kulkemaan pylväsrungon kautta maahan aiheuttaen maasulun.

Kulkuaaltomittaus toimi moitteettomasti ja molempien asemien kulkuaaltomittarit saivat aikaleiman ja paikannettua vikapaikan. Mikään muu menetelmä ei saanut tulosta aikaan, sillä kyseessä oli sammutettu verkko. Vikapaikaksi osoittautui Joukhaisselän haarajohto. Vikapaikka käytiin tarkastamassa haaran kohdalla ja se todettiin oikeaksi. Tämä vika todisti kulkuaaltomittauksen luotettavuuden ja tarkkuuden sammutetussa verkossa. Voimajohtoasiantuntijat olivat todella tyytyväisiä vianpaikannuslaitteiston toimivuuteen. Kuva 42 esittää vianpaikannusanalysointi työkalun IQ+ esittämää vikapaikkaa. Punainen, vihreä ja sininen kuvaavat vaiheita R, S ja T. Liitteessä esitetään viasta syntyvän kulkuaallon etenemistä eri vaiheilla ja vikapaikan etäisyys näkyy yläreunassa molempien päiden mittauksissa.



KUVA 39. Vikapaikka MLT-VAJ

Vika saatiin sammumaan VAJ pään AJK:llä. Vika kesti yhden minuutin ja verkko palautettiin käyttöön tämän jälkeen. Vika esiintyi samalla johdolla 23.1. ja 24.1., ja sen aiheutti sama syy. Vika poistettiin verkosta 24.1 päivänä aukaisemalla Palsselän erotin AE01Q2 suuntaan JOS. Tällöin partio kävi pudottamassa lumet johdolta ja verkko palautettiin käyttöön.

6.2 Häiriöiden lukumäärä ja tyyppi

Häiriöiden lukumääräksi jäi 2 kpl, joista yksi oli yhdenpääntulos eikä paikannusta pystytty suorittamaan kulkuaaltomittauksen perusteella. Molemmat viat todettiin maasuluiksi, jotka ovat yleisiä talvisaikaan. Maasulut johtuvat yleensä talvisaikaan ukkosköyden ympärillä olevasta lumesta, joka painaa ukkosköyden vaihejohdinta vasten. Vähäiset tulokset ovat kulkuaaltomittauksen kannalta

huono asia, koska yhden osuvan paikannuksen perusteella ei vielä voi varmistaa sen toimivuutta jokaisessa vikatilanteessa. Tulosten perusteella voidaan tulkita, että kulkuaaltomittaus on useimmissa vikatilanteissa toimiva paikannusmenetelmä. Vaikka kukaan ei toivo vikoja syntyväksi, niitä kuitenkin esiintyy. Olisinkin toivonut pidempää aikaa todentamiseen, jotta oltaisiin voitu testata menetelmän toimivuutta erilaisissa tilanteissa.

6.3 Laskentatulokset vs. todellinen vikapaikka

Jälkimmäisessä häiriössä laskentatuloksia ei saatu muilla menetelmillä, sillä vika esiintyi Lapin sammutetussa verkossa, jossa ei saada vikaa paikannettua muulla kuin kulkuaaltomittarin antamilla vikapaikan laskentatiedoilla. Kulkuaaltomittari osoittautui kyseisellä MLT-VAJ johto-osuudella toimivaksi vikapaikan timeksi ja antoi tuloksen haarakohdalle, johon teoriantikin mukaan kulkuaaltomittaus voi antaa tuloksen. Aikaleimojen perusteella pystyttiin laskemaan käsin vikapaikan sijainti. Laskenta tuli suorittaa kahdenpäänmittausmenetelmän mukaisilla kaavoilla. L_A kuvastaa Meltauksen asemaa ja L_B Vajukosken asemaa.

$$L_A = \frac{[L + (\Delta t_{A-B}) \cdot v]}{2} \quad \text{KAAVA 11}$$

$$L_B = \frac{[L + (\Delta t_{B-A}) \cdot v]}{2} \quad \text{KAAVA 12}$$

missä

L on johdon pituus

Δt = Ensimmäisten kulkuaaltojen saapumisaikojen erotus asemilta A ja B

Otin tarkasteltavaksi aikaleimat, jotka GPS:t antoivat klo 0.27.13.181272550 Vajukosken kulkuaaltomittarilta ja klo 0.27.12.181331730 Meltauksen kulkuaaltomittarilta. Kaavan mukaisesti laskin vikapaikkaa ja sain lähes täysin saman tuloksen kuin kulkuaaltomittari. Alla näkyy laskutoimitus.

$$L_A = \frac{[121,9\text{km} + (0,181331730\text{s} - 0,181272550\text{s}) \cdot 299\,792\,458\text{m/s}]}{2}$$

$$= 69,82085883222 \text{ km}$$

=69,82 km

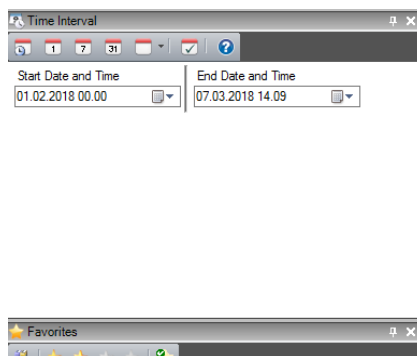
Laskettu 69,82 km

kulkuaaltomittauksen antama tulos 69,82 km

Joukhaisselän haaran sijainti Meltaukselta on 69,7 km_eli virhe oli vain 69,82 km – 69,7 km = 120 m. Tarkkuudeksi saadaan tämän tuloksen avulla ± 120 m. Tähän tulokseen olen tyytyväinen, sillä 120 m on vähemmän kuin pylväsväli.

6.4 IQ+ analysointityökalun käytettävyys

IQ+ Master Station ohjelma on todella helppokäyttöinen, käytännöllinen ja selkeä. Aikaisempaa kokemusta minulla ei ollut ja opin nopeasti sen peruskäyttämiseen tarvittavat taidot. Ohjelmassa oli selkeät nimet valikoille ja ohjeet olivat todella helppolukuisia. Ohjelmalla pystyi tarkastelemaan vikatilanteita reaaliajassa ja pystyi myös rajaamaan halutut päivämäärät joita tarkastella. Tuloksena sai havahtumiset ja mahdolliset vikapaikkatiedot. Monessa mittavälissä täytyi asettaa liipaisukynnystä pienemmäksi, koska havahtumisia tapahtui jatkuvasti. Kuva 43 esittää ohjelmalla rekisteröityjä havahtumisia.

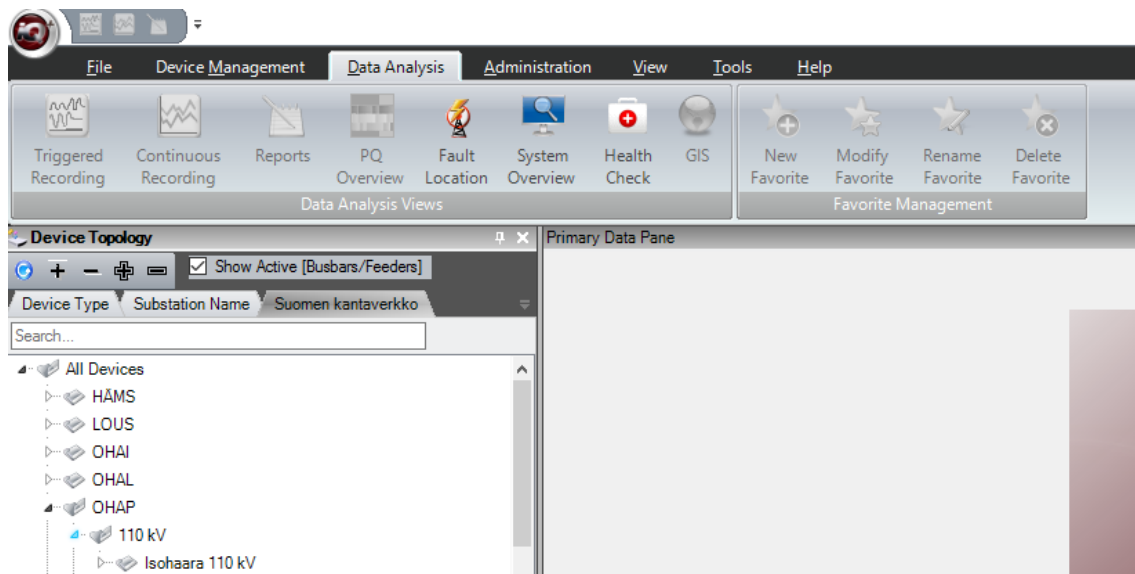


Time	Location	Device	Status	Value	Category
9.2.2018 16.23.53.446116100	Levasuo 110 kV	LE110	AE10 NTS	783 Locked	446116100 Normal
6.2.2018 13.07.10.484208620	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	271 Locked	484208620 Normal
6.2.2018 13.07.10.474015040	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	270 Locked	474015040 Normal
6.2.2018 13.07.10.453428470	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	269 Locked	453428470 Normal
6.2.2018 13.07.10.434340360	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	268 Locked	434340360 Normal
6.2.2018 13.06.21.677288400	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	267 Locked	677288400 Normal
6.2.2018 13.06.21.656180090	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	266 Locked	656180090 Normal
6.2.2018 13.06.21.138185320	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	265 Locked	138185320 Normal
6.2.2018 13.06.21.126954670	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	264 Locked	126954670 Normal
6.2.2018 13.06.20.740446210	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	263 Locked	740446210 Normal
6.2.2018 13.06.20.729951820	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	262 Locked	729951820 Normal
6.2.2018 13.06.20.718433080	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	261 Locked	718433080 Normal
6.2.2018 13.06.20.708178270	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	260 Locked	708178270 Normal
6.2.2018 13.06.20.694028680	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	259 Locked	694028680 Normal
6.2.2018 13.06.20.682259350	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	258 Locked	682259350 Normal
6.2.2018 13.06.20.671933190	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	257 Locked	671933190 Normal
6.2.2018 13.06.20.661756640	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	256 Locked	661756640 Normal
6.2.2018 13.06.20.646423990	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	255 Locked	646423990 Normal
6.2.2018 13.06.16.375641870	Pikkarala 110 kV	PR110	AE07 NTS	254 Locked	375641870 Normal

KUVA 40. Kulkuaallon havahtumisia

Havahtumisista ei saada paikannustietoa, sillä siinä näkyy vain kellonaika ja vaikka olisi mittaustuloskin, niin se ei ole paikansa pitävä. STINA:sta voidaan myös tarkistaa katkaisijoiden laukaisutiedot, mikäli kulkuaaltomittareiden antamat tulokset epäilyttävät. Havahtumisista ei analysointityökalulla voi tarkastella muuta kuin aikaleimoja. Ainoastaan niitä vikoja, joista on saatu mittaustulos aikaiseksi, voidaan tarkastella tarkemmin.

Laitteen topologia on hyvin selkeä ja helposti luettava. Ohjelmalla pystyi tarkastelemaan kaikkia Fingridin omistamia kulkuaaltomittareiden kuntotietoja ja vika-paikkatietoja. Topologian Järjestys oli seuraava: Suomen kantaverkko -> kaikki laitteet -> alue -> jännitetaso -> sähköasema. Sähköaseman kohdalta pystyi muun muassa tarkastelemaan laitetta tai mitattavien johtolähtöjen paikantamistietoja. Kuvasta 44 nähdään ohjelman perusnäkökulma ja miten hierarkia on tehty ohjelmaan.



KUVA 41. iQ+ Master Station perusnäkökulma

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteina oli ottaa käyttöön 18 kpl TWS-FL 8-kulkuaaltomittaria 220 kV:n ja 110 kV:n verkkoon Pohjois-Suomen ja Lapin alueelle ja todentaa kulkuaaltomittarin toimivuus 110 kV:n ja 220 kV:n jännitetasoilla. Työvaiheiden osalta tuli myös miettiä parannuskeinoja, jotka olisi tärkeä huomioida tulevissa asennusprojekteissa. Kulkuaaltomittarin IQ+ Master Station -analysointisovelluksen käyttöönotto ja käytettävyyden toteaminen olivat myös projektin tavoitteena. Työn alkuvaiheessa täytyi selvittää kulkuaaltoon liittyvää teoriaa niin laitevalmistajan antaman ohjepaketin avulla, kuin tieteellisten tutkimuksien perusteella. Toimintaperiaate tuli selväksi tiedonkeruuvaiheessa ja sain hyvää tietämystä asiantuntijoilta verkon suojaukseen liittyvistä asioista.

Luotettavaa vianpaikannustekniikkaa on toivottu jo pitkään Lapin sammutettuun verkkoon. Fingrid voi taata nopean ja luotettavan paikannusjärjestelmän kulkuaaltomittauksen avulla. Viasta syntyvien transienttivirtojen ylittäessä liipaisukynnyksen antaa GPS tapahtumasta aikaleiman ja ohjelma laskee molempien asemien aikaleimojen perusteella vikapaikan sijainnin. Kulkuaaltotekniikan avulla säästetään paljon vian sijainnin etsimiseen käytettyä aikaa. Fingridin voimajohtoasiantuntijat olivat todella tyytyväisiä hankintaan. Nykyiset hankintakustannuksetkin ovat kohtuulliset ja vian paikantaminen kulkuaaltomittauksen avulla maksaa jo itseään takaisin tämän tarkkuuden avulla. Kulkuaaltomittauksen toimintavarmuuden ja tarkan vianpaikannuksen vuoksi Fingrid lisää kulkuaaltomittausjärjestelmiä ympäri Suomea.

Mittauksen näkökulmasta vikoja olisi voinut olla enemmän, mutta toisaaltahan niiden vähäinen määrä kertoo vain verkon tasaisesta ja luotettavasta toiminnasta. Mitään rakenteiden vanhentumisen aiheuttamia vikoja emme päässeet toteamaan kulkuaaltomittauksella, mutta saimme yhden todella merkittävän vian paikannettua. Tämä vika sattui sammutetussa verkossa, johon onkin toivottu luotettavampaa vikapaikannusmenetelmää. Vikapaikka saatiin paikannettua haarakohtaan ja haarajohto oli pituudeltaan 2 km. Haarajohto ei ole Fingridin oma johto vaan se kuului ulkopuoliselle verkkoyhtiölle. Kyseinen haara on tärkeä kantaverkolle, sillä haaran päässä sijaitsee tuulivoimalaitos. Analysointityö-

kalu iQ+ Master Station osoittautui todella helppokäyttöiseksi ja selkeäksi. Vian syntyessä on helppo löytää ohjelmalla näyte, josta nähdään vikapaikan sijainti ja voidaan analysoida viasta aiheutuvaa kulkuaaltoa. Vikapaikan ja -tyypin analysointi pelkän kulkuaaltonäytteen perusteella oli haastavaa, mutta vikapaikan sai tietoon ohjelman laskennan tuloksen perusteella. Laite merkkasi osan vioista merkitykseltään suureksi, mikä osoitti ”High priority” toiminnon onnistuneeksi.

Työssä haastavinta oli tiedon hankinta, sillä kulkuaaltomittauksesta ei ole tehty vastaavanlaisia opinnäytetöitä eikä aihe ollut minulle ollenkaan tuttu ennestään. Alkupään johdattavat teoriat sain tehtyä varsin helposti, mutta kulkuaaltomittaustekniikasta löytyi varsin vähän tietoa. Laitevalmistajan manuaalit ja tietopakettit olivat enemmänkin asennusohjeita eikä niinkään teoriaa laitteen toiminnasta ja tulosten analysoinnista. Käytännön työ ja asiantuntijoiden tietämys antoivat kuitenkin hyvän ymmärryksen aiheesta. Olen myös opinnäytetyön aikana saanut paljon tietoa kantaverkon tavasta toimia ja huomannut kuinka merkittävässä osassa kulkuaaltomittaus on kantaverkossa.

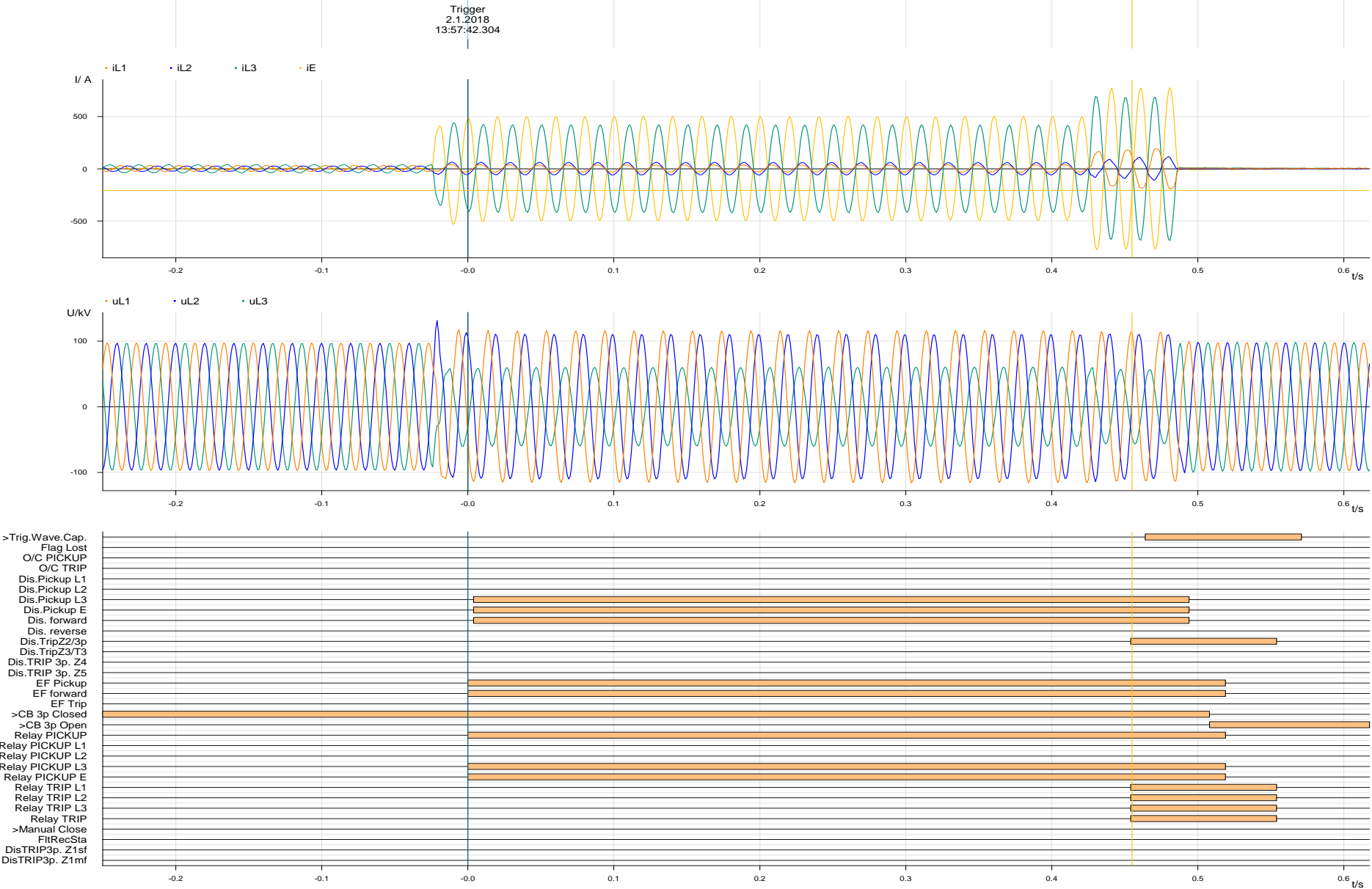
Pidempi tutkimusaika olisi kenties mahdollistanut useamman vian analysoinnin ja tarkempien johtopäätösten tekemisen. Tavoitteisiin päästiin kuitenkin aikataulussa ja saimme tärkeitä tuloksia tulevien kohteiden suunnitteluun, kuten liipaisukynnyksen arvon säätäminen. Myös varsin merkittävä huomio oli GPS antennin sijoittamisen tärkeys hyvän signaalin saavuttamiseksi ja kuinka 400 kV:n kenttä häiritsee antennin signaalia.

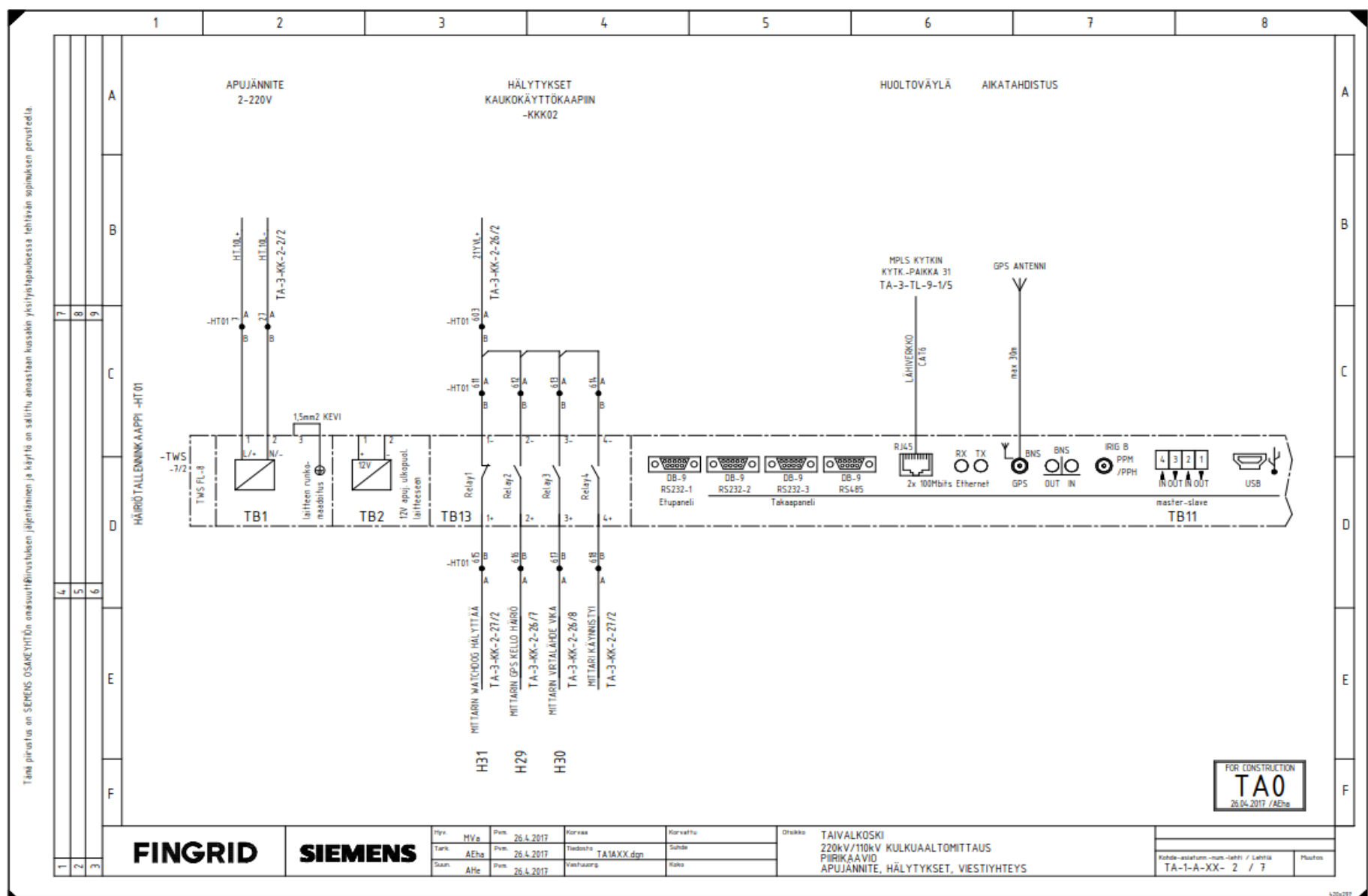
Mielestäni työ saatiin tehtyä hyvin, opin käyttämään hyvin analysointityökalua ja opin tuntemaan kulkuaaltomittauksen perusteita ja pääsin kokemaan, miten teoria kohtaa käytäntöä. Työ antaa hyvän kuvauksen kulkuaaltomittauksesta ja sen asennuksiin liittyvistä seikoista. Toivon, että työstä on hyötyä Fingridin seuraavissa kulkuaaltomittareiden asennuksissa.

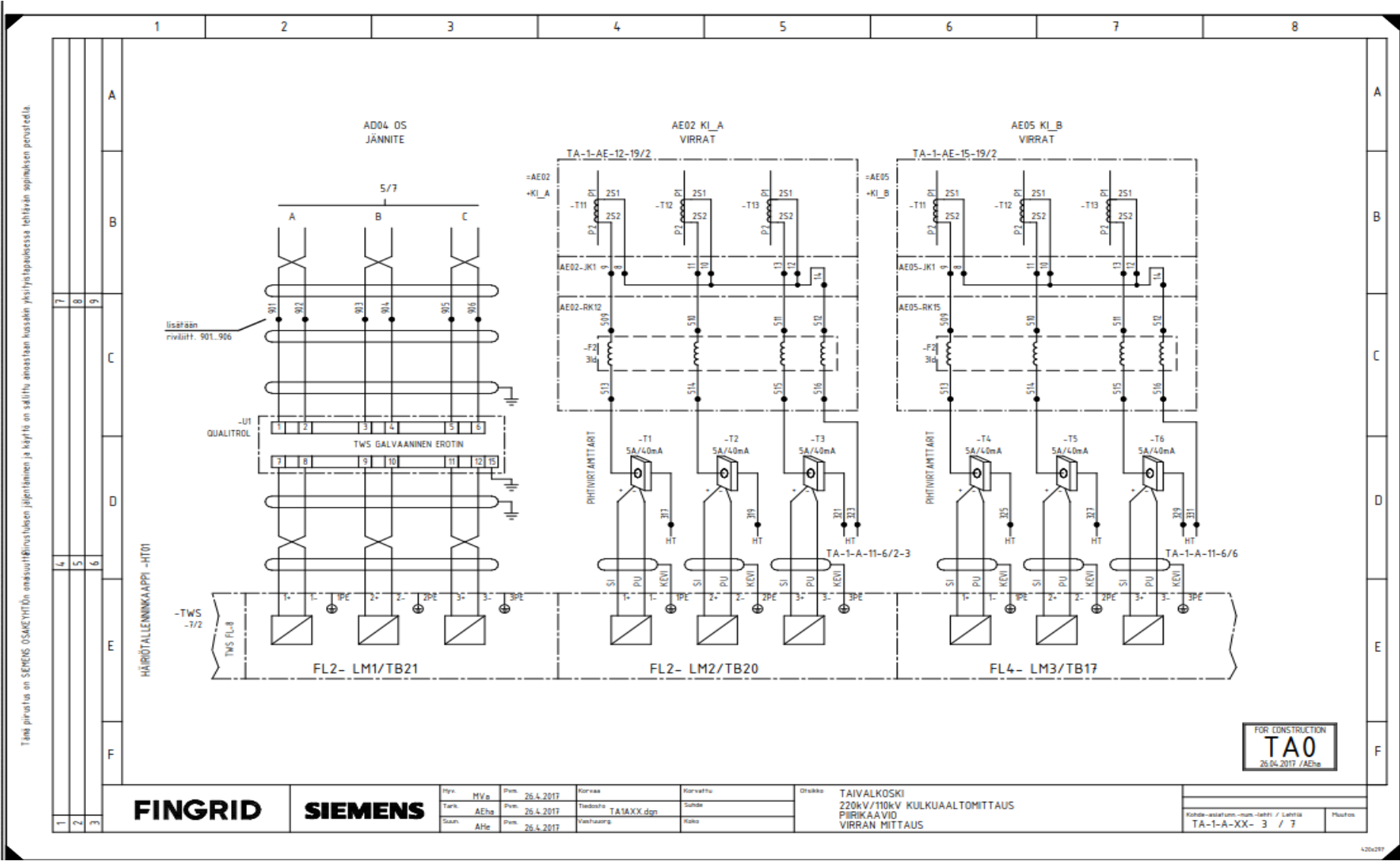
LÄHTEET

1. Fingridin historia 2017. Fingrid. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/fingridin-historia/>. Hakupäivä 28.12.2017
2. Esittely 2018. Fingrid. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/esittely/>. Hakupäivä 28.12.2017
3. Heikkilä, J 2004. Sähköasemat ja niiden tärkeimmät laitteet. Fingrid Oyj:n lehti 1/2004.
4. Alanen, Rauli– Hätönen, Hannu 2006. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/w52.pdf>. Hakupäivä 8.1.2018
5. Korpinen, Leena. Sähkönsiirto ja jakeluverkot. Saatavissa: http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf Hakupäivä 12.12.2017
6. Fingrid Oyj 2010. Maadoitustavat. Kantaverkon käsikirja. Helsinki. Julkaisematon selvitys. Hakupäivä 30.12.2017
7. Fingrid Oyj. Vikatyypit. Kantaverkon käsikirja. Fingrid Oyj. Helsinki. Julkaisematon selvitys. Hakupäivä 20.12.2017
8. Rantala, Pekka. Oppimateriaali. Maasulkusuojaus. Saatavissa: https://moodle.oamk.fi/pluginfile.php/136637/mod_resource/content/1/6_Maasulkusuojaus.pdf Hakupäivä 28.12.2017
9. Korpinen, Leena. Vikatilanteet. Saatavissa: <http://www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/vikatilanteet.pdf> Hakupäivä 28.12.2017

10. Perez, Joe. A guide to digital fault recording event analysis. IEEE 2010 63rd Annual Conference for Protective Relay Engineers. College Station, TX, USA, 29.3.–1.4.2010.
<https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=5464130>
Hakupäivä 2.1.2018
11. Ibrahim, Mohammed. Disturbance Analysis for Power Systems. New Jersey, Wiley-IEEE Press, 2012.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6185746/> . Hakupäivä 11.12.2018
12. Fingridin tietokanta. 2010. Suojareleet: Kantaverkkowiki. Ei julkisesti saatavilla. Hakupäivä 30.12
13. Relesuojauksen toteuttamisperiaatteet. 2000. ABB TTT-käsikirja. Luku 7. Saatavissa:
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_5_Oikosulkusuojaus-releill%84.pdf Hakupäivä 23.1.2018
14. Javanainen, Aarni 2017. Kantaverkon häiriötallenteiden automaattinen analysointi. Diplomityö. Helsingin Aalto-Yliopisto, Helsinki.
15. Fingrid Oyj. Häiriötallentimien käyttö ja voimajohtojen vianpaikannus KH020.
16. Karhu, Jani 2018. Häiriötallenteen selvitys. Sähköpostiviesti. Oulunsalo.
17. Fingrid Oyj 2015. Hathaway, Qualitrol TWS kulkuaaltovikapaikanmittarin käyttöohje. Kantaverkon käsikirja. Helsinki. Julkaisematon selvitys. Hakupäivä 2.1.2018
18. Qualitrol. Kulkuaaltomittarin ja analysointityökalun käyttöohjeet ja laitetiedot. Julkaisematon selvitys. Hakupäivä 2.1.2018
19. Vainionpää, Antti. Kulkuaaltomittaus. PowerPoint-esitys. Sähköpostiviesti







System Configuration	
<div><div>IP Configuration for ETH0</div><div><div>IP Address :</div><div>192.168.0.11</div></div><div><div>Broadcast IP:</div><div>...</div></div><div><div>Netmask IP:</div><div>255.255.255.0</div></div></div> <div><div>DHCP Configuration for ETH0</div><div><div>DHCP Status:</div><div>DHCP Disable</div></div><div><div>Start address of the Range:</div><div>192.168.0.101</div></div><div><div>End address of the Range:</div><div>192.168.0.110</div></div></div> <div><div>DNS(Domain Name Service) Configuration for ETH0</div><div><div>Primary DNS IP Address:</div><div>192.168.0.1</div></div><div><div>Secondary DNS IP Address:</div><div>192.168.0.2</div></div></div>	<div><div>IP Configuration for ETH1</div><div><div>IP Address :</div><div>172.29.89.90</div></div><div><div>Broadcast IP:</div><div>172.29.89.127</div></div><div><div>Netmask IP:</div><div>255.255.255.192</div></div></div> <div><div>DHCP Configuration for ETH1</div><div><div>DHCP Status:</div><div>DHCP Disable</div></div><div><div>Start address of the Range:</div><div>192.168.1.101</div></div><div><div>End address of the Range:</div><div>192.168.1.110</div></div></div> <div><div>DNS(Domain Name Service) Configuration for ETH1</div><div><div>Primary DNS IP Address:</div><div>192.168.1.1</div></div><div><div>Secondary DNS IP Address:</div><div>192.168.1.2</div></div></div>